



**SUOMUSSALMEN VARHAISPROTEROTSOOISTEN
DIABAASIEN MINERALOGIA TEKTONISESSA TULKINNASSA**



Pro Gradu -tutkielma
Helsingin yliopisto
Geologian laitos
Samppa Bernelius
18.10.2009

Tiedekunta / Osasto Fakultet / Sektion Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos Institution Department Geologian laitos	
Tekijä Författare Author Bernelius Samppa Olavi			
Työn nimi Arbetets titel Title Suomussalmen varhaisproterotsooisten diabaasien mineralogia tektonisessa tulkinnassa			
Oppiaine Läroämne Subject Kallioperägeologia			
Työn laji Arbetets art Level Pro Gradu -työ		Aika Datum Month and year Lokakuu 2009	Sivumäärä Sidoantal Number of pages 63
Tiivistelmä Referat Abstract <p>Tässä tutkimuksessa tarkastellaan Suomussalmen alueen diabaasien mineralogian ja sen yhteyttä tektonisiin tapahtumiin. Erityisen kiinnostuksen kohteena ovat arkeisen pohjan lohkoliikunnot. Suomussalmen alueen varhaisproterotsooisia diabaasijuoniparvia lohkovat tektoniset linjat erottavat terävärajaisesti kaksi magneettiselta susceptibiliteetiltään erottuvaa anomaliaa. Toisella korkean susceptibiliteetin alueista, Toravaaran anomaliassa, diabaasit näyttävät sisältävän huomattavasti ympäristöään enemmän pyrokseeneja, kun taas ympäröivillä alueilla diabaasien pääasiallinen Fe-Mg-mineraali on sarvivälke. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää näiden anomalioiden sisällä esiintyvien diabaasien eroja anomalioiden ulkopuolisiin diabaaseihin sekä tulkita anomalioiden syntymekanismeja.</p> <p>Aineistona tutkimuksessa on kenttähavaintoja, 120 ohuthiettä, 334 mikroanalyyysiä, 19 kokovivianalyyysiä, ikämääritysanalyyysi sekä geofysikaalisia matalalentokarttoja. Menetelminä käytetään kenttähavaintoja, ohuthietutkimuksia, kemiallisia analyysejä kivistä, mikroanalyysejä yksittäisistä mineraaleista, radiogeenisiä ikämäärityksiä sekä geotermometrejä ja geobarometrejä.</p> <p>Kenttätutkimusten ja ohuhietutkimusten perusteella diabaasit jakautuvat pyrokseenidiabaaseihin, sarvivälkediabaaseihin sekä porfyryriseen Lohisärkän juoniparveen. Sarvivälkediabaaseja tavataan koko alueelta, kun taas pyrokseenidiabaaseja lähinnä Toravaaran anomaliasta ja Lohisärkän parvi halkoo kapeana nauhana koko aluetta. Kemiallisesti ja mineraalien koostumuksen perusteella diabaasit ovat melko yhtenäisiä. Muutamat poikkeukset kuuluvat joko harvinaisempiin juoniparviin tai ne ovat muuttuneet voimakkaasti. Lohisärkän juoniparvelle saatiin iäksi 2,21 Ga, eli se on yleisintä 1,98 Ga juoniparvea huomattavasti vanhempi. Geotermometrian perusteella Toravaaran alueen diabaasit ovat tasapainottuneet muita korkeammassa lämpötilassa. Geobarometrian tulokset osoittivat pyrokseenien kiteytyneen eri syvyyksillä magmasäiliössä.</p> <p>Tutkimus osoitti Toravaaran anomalian syntyneen vertikaalisen lohkoliikunnon tuloksena sekä sen länsipuolisen siirroksen olleen sivuttaissirtymältään hyvin pieni. Toisen anomalian syntymekanismin todettiin myös olevan tektoninen. Tämän lisäksi diabaasien tutkimukseen geotermobarometreillä saatiin määritettyä oleellisia reunaehtoja: tutkittavat mineraalit on valittava pienimmän mahdollisen kiteytymissyvyyden perusteella ja on valittava magmaattisen lämpötilan tutkimisen mahdollistava geotermometri. Lisäksi tutkimus olisi helpompi suorittaa alueella, jossa diabaasit ovat paremmin paljastuneita.</p>			
Avainsanat Nyckelord Keywords Diabaasi Suomussalmi Geobarometria Geotermometria Lohkoliikunto			
Säilytyspaikka Förvaringsställe Where deposited Kumpulan tiedekirjasto			
Muita tietoja Övriga uppgifter Additional information 2 taulukkoa, 23 kuvaa, 6 liitettä			

Tiedekunta / Osasto Fakultet / Sektion Faculty Faculty of Science		Laitos Institution Department Geology	
Tekijä Författare Author Bernelius Samppa Olavi			
Työn nimi Arbetets titel Title Tectonic Interpretation of the Mineralogy of Early Proterozoic Diabase Swarms in Suomussalmi			
Oppiaine Läroämne Subject Bedrock geology			
Työn laji Arbetets art Level Master's Thesis		Aika Datum Month and year October 2009	Sivumäärä Sidoantal Number of pages 63
Tiivistelmä Referat Abstract <p>The object of this research is to study the mineralogy of the diabase dykes in Suomussalmi and the relevance of the mineralogy to tectonic events, specifically large block movements in the Archaean crust. Sharp tectonic lines separate two anomalies in the dyke swarms, shown on a geomagnetic map as positive anomalies. In one of these areas, the Toravaara anomaly, the diabases seem to contain pyroxenes as a main component. Outside the Toravaara anomaly hornblende is the main ferromagnesian mineral in diabases. The aim of this paper is to research the differences in the diabases inside and outside the anomalies and interpret the processes that formed the anomalies.</p> <p>The data for this study consist of field observations, 120 thin sections, 334 electron microprobe analyses, 19 whole-rock chemical analyses, a U-Pb age analysis and geomagnetic low-altitude aerial survey maps. The methods are interpretation of field observations, chemical analyses, microprobe analyses of single minerals and radiometric age determination, microscopic studies of the thin sections, geothermometers and geobarometers.</p> <p>On the basis of field observations and petrographic studies the diabases in the area are divided into pyroxene diabases, hornblende diabases and the Lohisärkkä porphyritic dyke swarm. Hornblende diabases are found in the entire study area, while the pyroxene diabases concentrate on the area of the Toravaara geomagnetic anomaly. The Lohisärkkä swarm transects the whole area as a thin line from east to west. The diabases are fairly homogenous both chemically and by mineral composition. The few exceptions are part of rarer older swarms or are significantly altered. The Lohisärkkä dyke swarm was dated as 2,21 Ga old, significantly older than the most common 1,98 Ga swarm in the area. The geothermometers applied showed that the diabases on the Toravaara anomaly were stabilized at a much higher temperature than the dykes outside the anomaly. The geobarometers showed the pyroxenes to have crystallized at varying depths.</p> <p>The research showed the Toravaara anomaly to have formed by a vertical block movement, and the fault on its west side to have a total lateral transfer of only a few kilometers. The formation of the second anomaly was also interpreted to be tectonic in nature. In addition, the results of the geothermobarometry uncovered necessary conditions for the study of diabase emplacement depth: the minerals for the study must be chosen by minimum crystallization depth, and a geobarometer capable of determining the magmatic temperature must be used. In addition, it would be more suitable to conduct this kind of study in an area where the dykes are more exposed.</p>			
Avainsanat Nyckelord Keywords Diabase Suomussalmi Geobarometry Geothermometry			
Säilytyspaikka Förvaringsställe Where deposited Kumpula Science Library			
Muita tietoja Övriga uppgifter Additional information 2 tables, 23 pictures, 6 appendices			

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	1
1 JOHDANTO JA TUTKIMUSKYSYMYKSET.....	5
1.1 Johdanto.....	5
1.2. Tutkimuksen tarkoitus.....	6
1.3 Tutkimuskysymykset.....	7
2 AINEISTO JA TUTKIMUSALUE.....	7
2.1 Tutkimusalueen yleinen geologia.....	7
2.1.1 Arkeiset kivet.....	9
2.1.2 Proterotsooiset kivet	10
2.1.3 Diabaasit.....	10
2.1.4 Magneettiset anomalia.....	11
3 MENETELMÄT.....	15
3.1 Kenttätutkimukset.....	16
3.2 Ohuthietutkimukset.....	16
3.3 Analyysit.....	17
3.3.1 Geokemialliset analyysit.....	17
3.3.2 Ikämääritysanalyysi.....	17
3.3.3 Mikroanalyysit.....	18
3.4 Geotermometriset ja geobarometriset tutkimukset.....	19
3.4.1 Termobarometriasta.....	19
3.4.2 Diabaasien termometreistä.....	20
3.4.3 Amfiboli-plagioklaasi-kvartsi-termometrit.....	20
3.4.4 Diabaasien geobarometreistä.....	21
3.4.5 Amfibolibarometri.....	22
3.4.6 Klinopyrokseenibarometrit.....	22
4 TULOKSET.....	25
4.1 Kenttähavaintojen tulokset.....	25
4.1.1 Ryhmittely.....	25
4.1.2 Ryhmien jakautuminen.....	25
4.1.3 Lohisärkän porfyyrinen juoniparvi.....	26
4.2 Petrografian tulokset.....	28
4.3 Geokemian tulokset.....	32
4.3.1 Pääalkuainekuvaajat.....	32

4.3.2 Hivenalkuaineanalyysi.....	35
4.3.3 Magman lähteen arviointi.....	36
4.4 Ikämäärittelyn tulokset.....	38
4.5 Mineraalikeemian tulokset.....	39
4.6 Amfibolitermometrin tulokset.....	41
4.7 Amfibolibarometrin tulokset.....	42
4.8 Klinopyrokseenibarometriksen tulokset.....	43
5 TULOSTEN TARKASTELU.....	45
5.1 Kenttätutkimukset ja petrografia.....	45
5.2 Kemialliset analyysit.....	48
5.3 Ikämäärittely.....	50
5.4 Geotermobarometria.....	51
5.4.1 Barometriksen varmentaminen.....	52
6 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	56
7 KIITOKSET.....	58
KIRJALLISUUSLUETTELO.....	59

LIITTEET

Liite 1. Kokokivianalyysit

Liite 2. Mikroanalyysit - amfibolit

Liite 3. Mikroanalyysit - pyrokseenit

Liite 4. Mikroanalyysit - plagioklaasit

Liite 5. Mikroanalyysit - muut

Liite 6. Ikämäärittelyanalyysi

Kansikuva: Pyrokseenidiabaasipaljastuma Toravaaran magneettisella anomaliolla. Diabaasit esiintyvät alueella usein muusta maastosta kohoavina harjanteina.

1 JOHDANTO JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

1.1 Johdanto

Diabaasit ovat juonikiviä, joiden koostumus on useimmiten basalttinen. Päämineraaleina ovat plagioklaasi ja mafiset mineraalit – amfibolit, pyrokseenit ja oliviini. Diabaasit ovat yleinen kivilaji kaikilla maapallon kilpialueilla (esim. Halls ja Fahrig 1987) ja ne esiintyvät yleensä laajoina karkeasti samansuuntaisina parvina, jotka leikkaavat terävästi ympäröivää kallioperää. Näiden parvien kehityksestä mantereisella kuorella on esitetty useampia teorioita. Fahrigin (1987) teoria liittyy ne mannerlaattojen repeämisvaiheeseen joko varhaisessa passiivisen reunan ympäristössä repeämissauman suuntaisina parvina tai *failed rift* –ympäristössä kohtisuoraan onnistunutta repeämissuuntaa vasten. Esimerkiksi Feraud et al. (1987) taas esittävät mantereisten diabaasijuonien synty-ympäristöksi mannerlaattojen törmäysvyöhykettä. Diabaasit ovat myös merkittävä kivilaji merellisessä kuoressa ja laajojen mafisten intruusioitten yhteydessä.

Suomesta on tunnistettu useita varhaisproterotsooisia diabaasijuoniparvia, joiden ikä vaihtelee välillä 2,45 – 1,98 Ga (Vuollo ja Huhma 2005). Nämä juonet ovat arkeaisen kallioperän alueella. Lisäksi tunnetaan nuorempia juoniparvia, joiden synty liittyy keskiproterotsooiseen rapakivimagmatismiin (Rämö ja Haapala 2005) sekä keskiproterotsooisia erilaisiin intrusioihin liittyviä diabaasijuonia (Kohonen ja Rämö 2005). Varhaisproterotsooisia diabaaseja ovat kuvanneet mm. Vuollo ja Huhma (2005), Janhila (2001), Kilpelä (1991) ja Salmi (1986). Suomussalmen alueella yleisimpiä ovat 1,98 Ga ikäiset diabaasijuonet. Nämä esiintyvät tyypillisesti itä-länsi- tai luode-kaakkosuuntaisina juonina, joiden leveys vaihtelee metristä kymmeneen metriin (esim. Kilpelä 1991).

Diabaasijuoniparvet ovat tutkimuskohteena kiinnostavia, sillä ne ovat laaja-alaisia ja suhteellisen homogeenisia kivilajeja, joten laaja-alaiset muutokset parven sisällä kertovat alueellisista muutoksista eli metamorfoosista tai fysikaalisista liikunnoista.

Diabaasien lineaarisen luonteen vuoksi kaikki laaja-alaiset kallioperän deformaatiot ja liikunnot näkyvät juonien esiintymisessä. Koska diabaasit ovat usein ympäristöään magneettisempia kiviä, ne on myös helppo havaita aeromagneettisilta matalalentokartoilta (Schwartz et al. 1987), ja siten saada melko tarkka kokonaiskuva niiden esiintymisestä myös kohtuullisen peitteisillä alueilla, kuten Suomussalmella.

Suomen kallioperän kehityksessä arkeeisella ja varhaisproterotsooisella ajalla syntyi valtaosa Suomen kallioperästä. Arkeisen kallioperän ja proterotsooisen kallioperän syntyajkojen väliin jää kuitenkin monen sadan miljoonan vuoden aukko, jolloin uusia kiviä syntyi verraten vähän tai näitä kiviä on vähän jäljellä. Yksi merkittävimmistä tämän ajan kiviryhmistä ovat varhaisproterotsooiset diabaasit. Koska arkeisen ajan merkittävät orogeeniset vaiheet olivat ohi diabaasien syntyessä, niihin ovat vaikuttaneet vain myöhemmät prosessit. Täten erityisesti arkeisen kallioperän alueilla diabaasit ovat yksi harvoista mahdollisuuksista tutkia niitä prosesseja, jotka ovat muokanneet arkeista kallioperää proterotsooisena aikana.

1.2. Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, onko diabaaseja tutkimalla mahdollista tutkia myöhempien liikuntojen ja metamorfoosin vaikutusta arkeisen alueen tektonisessa kehityksessä. Menetelminä käytetään kenttähavaintoja, lentogeofysiikkaa, petrografiaa, geokemiallisia analyysejä, ikämäärittystä sekä geotermobarometrisiä laskelmia perustuen mikroanalyyseihin. Tutkimuksen yhteydessä on myös tarkoitus selvittää geotermobarometrian soveltuvuutta diabaasien tutkimuksessa ja tulosten hyödyntämistä lohkoliikuntojen tulkinnassa. Lohkoliikuntojen tunteminen on tärkeää arkeisen kuoren muutosten rekonstruoimisessa ja siten Suomen kallioperän kehityshistorian tutkimuksessa. Aluella tiedetään olevan arkeisia lohkoliikuntoja (Vuollo & Huhma 2005), mutta niiden rajoja ei ole toistaiseksi tarkasti määritetty. Diabaasien mineralogiaa tutkitaan sillä tutkimushypoteesi (luvussa 2) asettaa sen yhteyteen arkeisten lohkoliikuntojen kanssa. Diabaasien geotermobarometrejä selvitetään uutena menetelmänä lohkoliikuntojen pystysuuntaisen komponentin tutkimuksessa.

1.3 Tutkimuskysymykset

Tärkeimmät tutkimuskysymykset ovat:

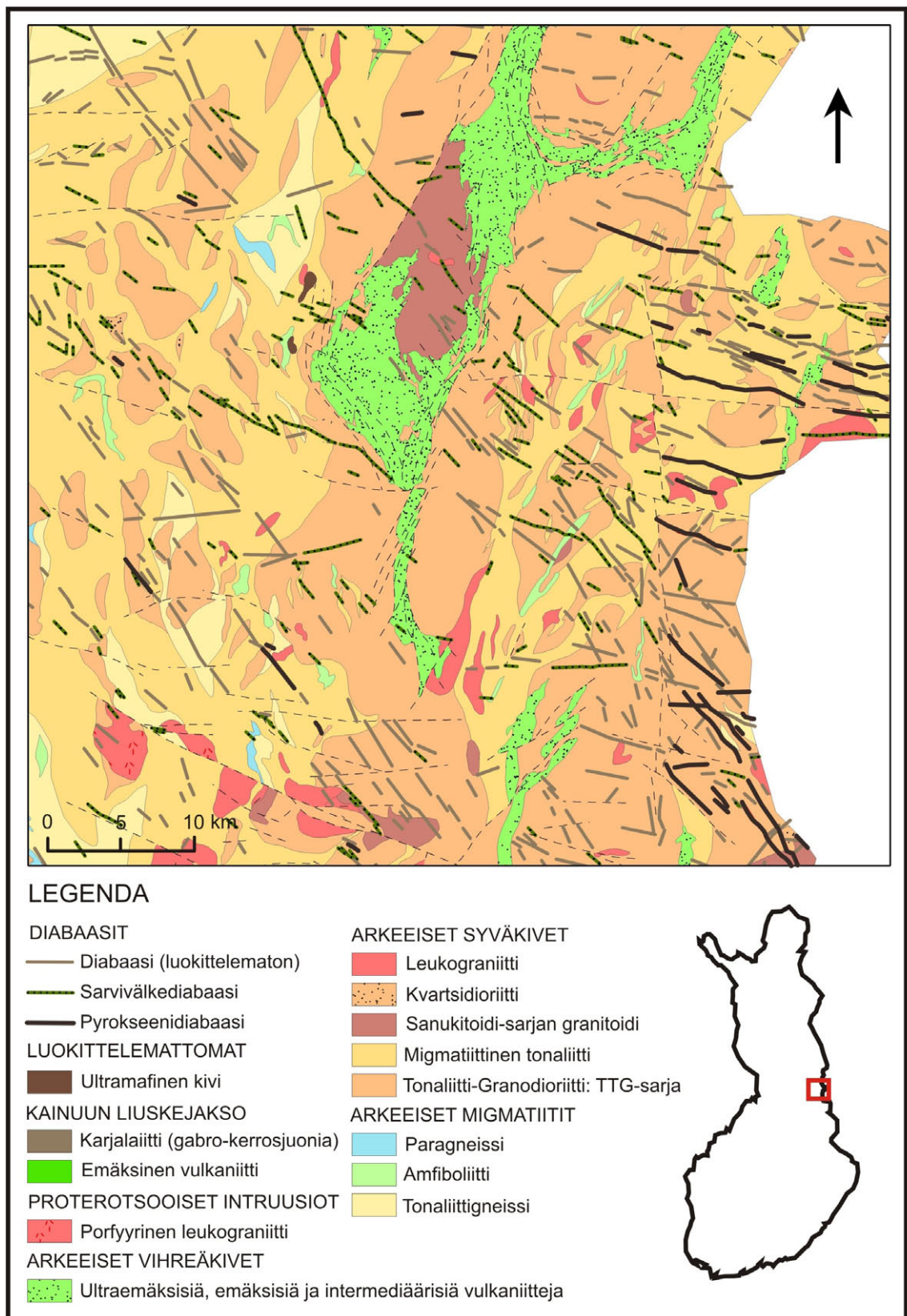
- 1) Mistä tutkimusalueen diabaasien mineralogiassa havaittavat erot johtuvat?
- 2) Millaiset liikunnot ovat vaikuttaneet alueella esiintyvien magneettisten anomalioiden syntyyn?
- 3) Voidaanko diabaasien geotermobarometrisellä tutkimuksella selvittää pystysuuntaisen siirroksen suuntaa ja siirtymää?

2 AINEISTO JA TUTKIMUSALUE

2.1 Tutkimusalueen yleinen geologia

Tutkimus on suoritettu osana Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Itä-Suomen yksikön Koillis-Kainuun kartoitusprojektia. Projektin koko kartoitusalue on kooltaan 5540 km², ja siihen kuuluu osia Suomussalmen, Hyrynsalmen ja Puolangan kunnista. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan lähemmin kahta rajattua aluetta kartoitusalueen sisällä. Nämä alueet ovat kiinnostavia geofysikaalisten erityispiirteidensä vuoksi. Molemmat ovat ympäristöönsä nähden positiivisia anomaliaita aeromagneettisilla kartoilla ja niiden alueella olevia diabaaseja rajaa selkeä tektoninen rajapinta. Tässä tutkimuksessa näitä alueita kutsutaan Toravaaran ja Ahjolan anomaliaiksi.

Tutkimusalueen kallioperä kuuluu Karjalan arkeeseen kratoniin (Sorjonen-Ward ja Luukkonen 2005). Kratonin kallioperä koostuu suurimmaksi osaksi arkeisille alueille tyypillisistä korkean metamorfoosiasteen migmatiiteistä sekä vaihtelevasti deformatuneista syväkivistä. Aluetta halkoo lisäksi metavulkaniiteistä koostuva Suomussalmen vihreäkivivyöhyke. Alueen yleistetty geologia on esitetty Kuvassa 1.



Kuva 1. Alueen sijainti ja yleistetty geologia. Kartta piirretty Mikkolan (2008) mukaan.

Alueen yleistä geologiaa on ensi kerran kuvattu Matiston (1954, 1958) 1:400 000

mittakaavaisessa karttalehdessä ja sen selityksessä. Myöhemmät tutkimukset ovat keskittyneet malmipotentialiseen Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeeseen (Luukkonen et al. 2002, Papunen et al. 2009). Tuore yhtenäinen kuvaus alueen kallioperän kokonaisuudesta on GTK:n raportissa Koillis-Kainuun kallioperä (Mikkola 2008) sekä siihen liittyvässä kartta-aineistossa. Lisäksi kirjoittaja teki useita havaintoja alueen kallioperästä vuosina 2006-2007.

2.1.1 Arkeiset kivet

Pääosa tutkimusalueen kallioperästä koostuu arkeisille alueille tyypillisistä TTG- eli tonaliitti-trondhjemiitti-granodioriittikivistä. TTG-kivien rakenne vaihtelee lähes suuntautumattomista voimakkaasti migmatiittisiin ja koostumus biotiittitonaliitista biotiittigranodioriittiin, joskin tonaliiteissa biotiitin osuus on usein alle 10%, mikä tekee niistä IUGS:n luokituksen mukaan trondhjemiitteja (Mikkola 2008). TTG-kivistä saadut kiteytymisiät vaihtelevat välillä 2.95-2.72 Ga.

Arkeiset tonaliittigneissit ovat ryhmä migmatiittisia kiviä, joiden mineraloginen kokonaiskoostumus on pääasiassa tonaliittinen, mutta paikoin metasomatoosi on lisännyt kalimaasälvän määrää (Mikkola 2008). Ryhmä on rakenteeltaan heterogeeninen; yhden paljastuman puitteissa kivi voi olla voimakkaan raitainen ja migmatiittinen ja siitä muuttua homogeeniseksi, lähes suuntautumattomaksi. Tonaliittigneissien lähtökivilajia tai lajeja ei ole tunnistettu (Mikkola 2008).

Amfiboliitit esiintyvät yleensä raitaisina, voimakkaasti suuntautuneina sulkeumina arkeisissä gneisseissä ja syväkivissä. Kivet, joista ne ovat syntyneet ovat olleet mafisia juonikiviä tai vulkaniitteja. (Mikkola 2008). Amfiboliitit eroavat alueen diabaaseista esiintymistavan lisäksi voimakkaan suuntautuneisuutensa sekä liuskeisuutensa takia.

Aluella sijaitsee myös Suomussalmen vihreäkivivyöhyke, joka koostuu arkeisista metavulkaniiteista. Vulkaniitit vaihtelevat koostumukseltaan intermediäärisistä ultraemäksisiin, ja ne ovat voimakkaasti deformatuneita.

Heilimo et al. (2007) ovat kuvanneet Kaapinsalmen 2717 ± 7 Ma ikäisen tonaliitin, joka

kuuluu Karjalan alueen sanukitoideihin. Juonina ja pieninä intruusioina alueella tavataan Riihivaara-tyypin kvartsidioriittia, joka on iältään 2702 ± 14 Ma (Mikkola 2008). Alueen arkeinen kehitys huipentui 2.7 Ga sitten Nurmestyyppin paragneissien ylityöntymiseen lännestä itään (Kontinen ja Paavola 2006), migmatisaatioon (Mikkola 2008) ja anatektisten leukogranitoidien syntyyn (Luukkonen 1988, Käpyaho et al. 2006, Mikkola 2008).

2.1.2 Proterotsooiset kivet

Diabaasien lisäksi alueella esiintyy varhaisproterotsooisia leukograniitti-intruusioita sekä plagioklaasiporfyyriä. (Mikkola 2008) Leukograniitit esiintyvät kahtena suurempana intrusiona sekä juonina, jotka leikkaavat muita kivilajeja. Näiden lisäksi alueelta on löydetty kahdesta paljastumasta runsaasti plagioklaasihajarakeita sisältävää plagioklaasiporfyyriä. Tämä muistuttaa sarvivälkediabaaseja, mutta eroaa niistä sekä kemiallisesti että suurine, eheine hajarakeineen, joiden kiteytymisytiminä on usein pieniä granaattikiteitä.

2.1.3 Diabaasit

Alueen diabaasit kuuluvat pääasiassa 1.98 Ga ikäiseen juoniparveen (Vuollo ja Huhma 2005), joka kulkee länsiluode-itäkaakko-suunnassa alueen halki. Juonten suunta vaihtelee jonkin verran, ja etenkin Ahjolan alueella suunta on enemmän luoteesta kaakkoon. Tutkimusalueilla diabaasit ovat pääasiassa alle 40 metriä leveitä juonia, jotka kohoavat usein ympäröivän maaston topografian yläpuolelle. Tarkkaa leveyttä on kuitenkin useimmiten mahdoton määrittää koska juonien kontaktit ovat harvoin paljastuneina.

Kilpelä (1991) on tutkinut diabaaseja tutkimusalueen eteläpuolella petrografisin ja geokemiallisin menetelmin. Hän on jakanut alueen diabaasit neljään ryhmään suunnan ja mineralogian mukaan. Ryhmät ovat I) NW-SE-suuntaiset metadiabaasit, II) Pyrokseenidiabaasit, III) Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen itäpuolella olevat E-W-suuntaiset diabaasit ja IV) Magnesiumpitoiset diabaasit. Vuollo ja Huhma (2005) ovat

kuitenkin osoittaneet juoniparvien suuntaan perustuvan luokituksen olevan harhaanjohtava, sillä eri ikäisiin ja koostumukseltaan erilaisiin parviin kuuluvien juonien suunta voi olla hyvin samankaltainen. Tässä tutkimuksessa diabaasit jaotellaan ensisijaisesti koostumuksensa mukaan.

Mineralogialtaan diabaasit koostuvat plagioklaasista, sarvivälkkeestä, pyrokseeneista ja ilmenomagneetiitista. Raekoko on pyrokseenidiabaaseissa pienirakeisesta (1 - 2 mm) keskirakeiseen (2 - 4 mm) ja sarvivälkediabaaseissa hienorakeisesta (0,2 - 1 mm) pienirakeiseen. Alueella esiintyy myös voimakkaasti deformatuneita diabaaseja, joissa mafiset mineraalit ovat kokonaan tai lähes kokonaan hydratoituneet epidootiksi tai kloriitiksi ja muiksi fyllosilikaateiksi. Rakenteellisesti ne ovat lähes poikkeuksetta homogeenisiä ja massamaisia, usein ofiittisia tai subofiittisia ja harvoin suuntautuneita tai porfyryisiä.

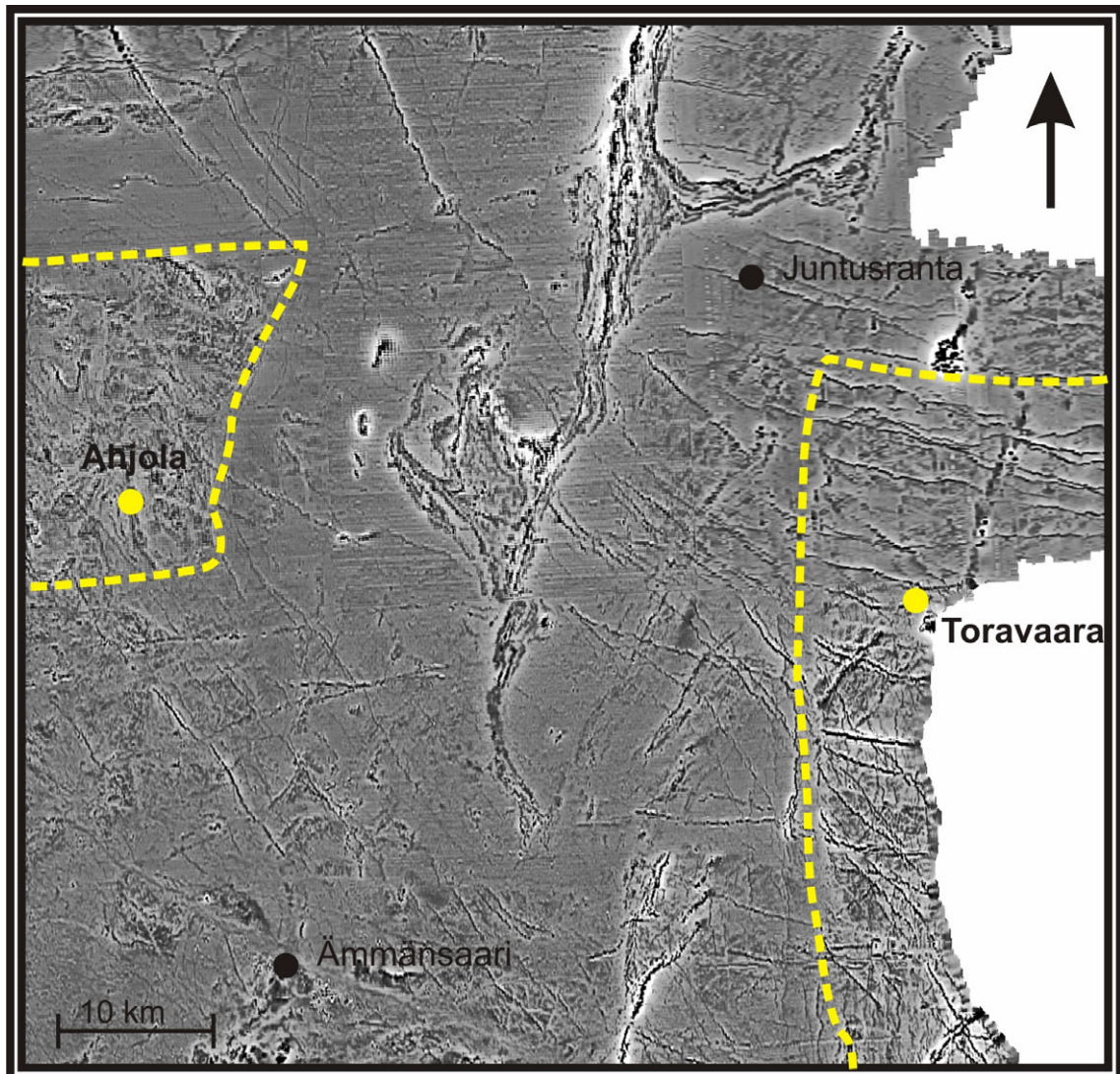
2.1.4 Magneettiset anomalias

Diabaasit ovat yleensä havaittavissa aeromagneettisilla matalalentokartoilla (Schwartz et al. 1987). Tutkimusalueella diabaasien magneettisuus vaihtelee, ja alueella on havaittavissa kaksi anomaliaa, joiden sisäpuolella diabaasit ovat voimakkaammin magneettisia kuin niiden ulkopuolella. Näitä Toravaaran ja Ahjolan anomaliaita rajaavat osin tektoniset, selvästi erottuvat rajat ja osin taas vaihteittuvasti häviävä ero magneettisessa susceptibiliteetissa. Aeromagneettisilta kartoilta tulkiten yksikään diabaasijuoni ei ylitä anomaliaita rajaavia siirroksia. Anomalia-alueet ovat tämän tutkimuksen kannalta tärkeimmät kohteet, sillä niiden synty liittyy tutkittaviin lohkoliikuntoihin, päätellen niitä osin rajaavista terävistä siirroksista.

Toravaaran tutkimusalue on Venäjän rajan tuntumassa oleva alue Juntusrannan kylästä kaakkoon, jonka voimakkaasti magneettiset diabaasit katkeavat terävästi pohjois-eteläsuuntaisen tektoniseen rajapintaan. Voimakkaasti magneettiset diabaasit ovat rajapinnan itäpuolella ja jatkuvat rajan yli Venäjän puolelle. Rajapinnan länsipuolella heikommin magneettiset diabaasit kulkevat samansuuntaisesti kuin itäpuolella, mutta yksikään diabaasi ei kulje rajapinnan poikki. Tämän tutkimuksen puitteissa alue rajataan

pohjoisessa Rasinvaaraan ja etelässä Raatteen kylään. Etelässä tektoninen rajapinta kääntyy loivasti kaakkoa kohti ja pohjoisessa magneettiset erot rajapinnan molemmin puoli tasoittuvat. Alueen sijainti ja rajat on esitetty Kuvassa 2.

Ahjolan kylä sijaitsee noin 40 km Ämmänsaaresta pohjoiseen. Alueen diabaasit rajautuvat kaarevaan tektoniseen rajaan idässä ja pohjoisessa ja Kainuun liuskejaksoon lännessä. Ahjolan alueella olevat diabaasit ovat hieman voimakkaammin magneettisia kuin Suomussalmen diabaasit yleisesti. Niiden kulku lentogeofysiikan perusteella on itä-läntisen sijaan luode-kaakko-suuntainen. Diabaasien suunnan muutoksen perusteella voidaankin alustavasti arvioida alueen kääntyneen myötöpäivään varhaisproterotsooisissa liikunnoissa. Alueen sijainti ja rajat on esitetty Kuvassa 2.



Kuva 2. Toravaaran ja Ahjolan anomaliat. Ahjola alueen länsilaidassa, Toravaara itälaidassa. Alueitten rajat on merkitty keltaisella katkoviivalla. Toravaaran länsiraja on terävä siirros, pohjois- ja etelärajat ovat vaihteittuvia. Ahjolan itä- ja pohjoisrajat ovat teräviä tektonisia linjoja, eteläraja sen sijaan on vaihteittuva. Lännessä alue rajautuu Kainuun liuskejaksoon. Pohjakartta GTK/matalalenttoaineisto.

2.2 Aineisto

Tutkimuksen aineisto koostuu kenttähavainnoista, ohuthieista ja niistä tehdyistä mikroanalyyseistä, kokokivikemian analyyseistä, lentogeofysiikan kartoista sekä yhdestä ikämääritysanalyyseistä.

Tutkimuksen kenttähavainnot koostuvat GTK:n Itä-Suomen yksikön Koillis-Kainuun kallioperäkartoitusprojektin yhteydessä tehdyistä havainnoista. Tätä tutkimusta varten tarkastettiin diabaasi- ja metadiabaasihavainnot Ahjolan tai Toravaaran anomalioiden alueella tai välittömässä läheisyydessä sekä Lohisärkän juoniparveen kuuluvat havainnot kesällä 2006. Kenttähavaintojen tukena ja diabaasijuonten kulun määrittämisessä käytettiin GTK:n lentogeofysiikan karttoja. Käytetyt kartat olivat magneettisen susceptibiliteetin matalalentokartat.

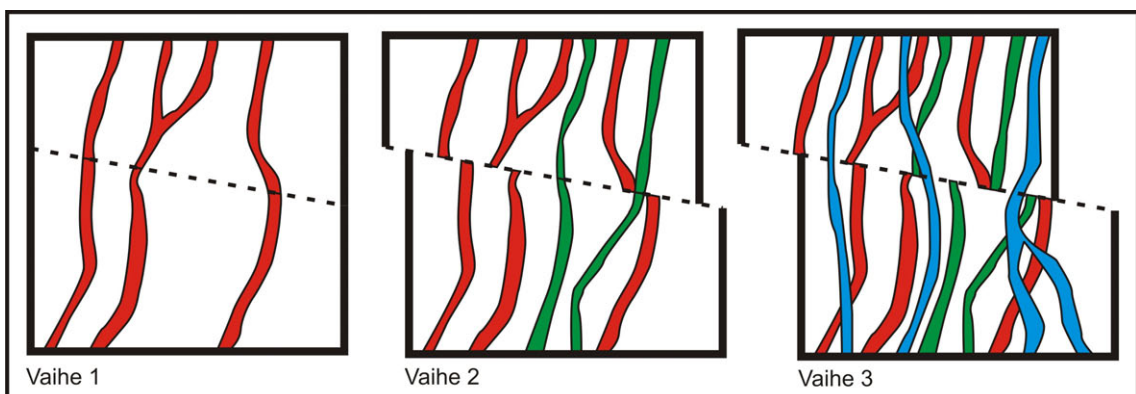
Diabaasipaljastumista otetuista näytteistä valmistettiin GTK:n Itä-Suomen yksikön hielaboratoriossa kiillotettuja ohuthieitä, joista tähän tutkimukseen valittiin 120 kappaletta. Valinta tehtiin sekä edustavuuden että havaintoverkon kattavuuden perusteella. Suurin osa hieistä valittiin Ahjolan ja Toravaaran anomalioiden alueelta ja välittömästä läheisyydestä, Lohisärkän juoniparvesta valittiin useita kohteita koko parven mitalta ja lisäksi koko kartoituksen alueelta valittiin muutamia verrokkeja.

Alueelta otetuista diabaasinäytteistä tehtiin 22 kemiallista kokokivianalyysiä. Näistä 15 valittiin koko alueelta, keskittyen anomalioiden alueille ja vertailun vuoksi niiden välittömään läheisyyteen, ja seitsemän Lohisärkän juoniparveen kuuluvista paljastumista. Lisäksi Lohisärkän juoniparvesta otettiin ikänäyte A1914 paljastumasta EIPO-2004-29.

3 MENETELMÄT

Juonien syntymekanismi ja esiintymistapa antavat mahdollisuuden niiden käyttöön tektonisten liikuntojen tulkitsemisessa ja tutkimisessa. Koska juoniparvet syntyvät ekstensionaalisessa ympäristössä, niiden yleinen suunta ja laajuus sekä ikä ovat indikaattoreita muinaisten ekstensioiden suunnasta ja tapahtuma-ajasta. Esimerkiksi tämän tutkimuksen kohteena olevat diabaasit ovat syntyneet Fennoskandian arkeeisen kuoren revetessä varhaisproterotsooisella ajalla (Vuollo ja Huhma 2005). Juonikivien ominainen muoto on hyvä väline lateraalisten siirrostojen tutkimiseen. Siirroslinjan kulkiessa juoniparven poikki juonet katkeavat ja siirtyvät linjaa pitkin suhteessa siirroksen mittaun, ja suotuisassa tapauksessa niistä voidaan karttakuvan perusteella rekonstruoida parven alkuperäinen asema ja siten siirroksen mitta.

Ongelmaksi siirroksen rekonstruoinnissa kuitenkin nousevat vertikaaliset liikunnot. Koska juoniparvet eivät ole alhaalta ylös asti yhdenmukaisia, yksittäiset juonet voivat muuttaa kulkuaan tai katketa kokonaan erilaisessa pintaleikkauksessa. Toiseksi ongelmaksi koituu myös eri ikäisten juoniparvioiden kemiallinen ja mineraloginen samankaltaisuus. Jos siirros on ollut aktiivinen eri parvioiden intruusioitten välillä, parvet ovat voineet liikkua eri matkan siirroksen myötä (Kuva 3). Vanhojen siirroksien tutkimisessa juoniparvioiden avulla on siis epävarmuustekijöitä, jotka on otettava huomioon tutkimusta suunniteltaessa ja toteutettaessa.



Kuva 3. Eri ikäisten homogeenisten juoniparvioiden siirrostuminen siirroksen ollessa aktiivinen juonien intruusioitten välillä. Punaisella merkityt juonet ovat siirrostuneet pidemmän matkan kuin vihreällä merkityt juonet. Mikäli juoniparvet ovat homogeenisia, eri juonten liittäminen oikeaan parveen voi olla mahdotonta.

3.1 Kenttätutkimukset

Suomussalmen kartoitusprojektin myötä tämän työn tutkimusalueilla tehtiin 2003-2006 noin 200 diabaasihavaintoa. Kenttätutkimusten apuna käytettiin magneettisia matalalentokarttoja, joilla diabaasit näkyvät erityisen hyvin. Vuonna 2006 kaikki havainnot tarkastettiin uudelleen, ja näytteitä otettiin lisää analyysijä sekä hieitä varten. Näytteet valikoitiin sekä alueellisen edustavuuden että riittävän kattavuuden perusteella.

3.2 Ohuthietutkimukset

Diabaaseista tehdyt ohuthieet tutkittiin petrografisesti polarisaatiomikroskoopilla. Kaikista hieistä tunnistettiin päämineraalit sekä aksessoriset mineraalit ja tulokset koottiin yhteen tiedostoon vertailua ja ryhmittelyä varten. Tutkimuksessa käytettiin apuna seuraavia käsikirjoja ja taulukoita: Pichler ja Riegraf 1997, Deer et al. 1992 sekä Tröger 1982.

Hieet ryhmiteltiin eri tyyppisten mineraaliseurueitten mukaan ryhmiin, ja niistä valikoitiin sopivia mineraaleja geotermobarometrisia tutkimuksia varten analysoitaviksi. Analysoitavat mineraalit valittiin niiden edustavuuden lisäksi eheyden, muuttumattomuuden ja homogeenisuuden mukaan. Osa mineraaleista valittiin paljastumista, jotka edustavat aluetta yleisesti. Valtaosa mikroanalyysipisteistä valittiin Toravaaran ja Ahjolan magneettisten anomalioitten alueilta, alueitten vertailuun riittävän aineiston varmistamiseksi. Analysoitaviksi mineraaleiksi valitsin plagioklaaseja, sarvivälkkeitä, pyrokseeneja sekä opaakkeja mineraaleja, jotka ovat pääasiassa ilmeniitin ja magnetiitin yhteenkasvettumia.

3.3 Analyysit

3.3.1 Geokemialliset analyysit

Kenttätutkimusten yhteydessä alueelta kerättiin 22 näytettä kokokivianalyysiä varten. Analyysinäytteet valikoitiin hyvin säilyneistä juonista laajalla verkolla, jotta saataisiin mahdollisimman hyvän kuva koko alueesta, minkä lisäksi Lohisärkän porfyyrisestä diabaasijuoniparvesta tehtiin useita analyysijä sen mahdolliseksi erottamiseksi muista juoniparvista myös kemiallisesti.

Näytteistä analysoitiin GTK:n akkreditoidussa geolaboratoriossa röntgen-fluoresenssimenetelmällä (XRF) pääkomponentit sekä hivenalkuaineet As, Ba, Bi, Cl, Cr, Cu, Ga, Mo, Ni, Pb, S, Sb, Sn, Sr ja Zn. Plasmaindusoidulla massaspektrometrillä (ICP-MS) analysoitiin Ce, Co, Dy, Er, Eu, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, Y, Yb ja Zr. Analyysimenetelmät on kuvattu yksityiskohtaisesti teoksessa Rasilainen et al. (2007). Kaikki analyysitulokset ovat Liitteessä 1. Geokemian analyysitulokset tulkittiin ja muokattiin kuviksi GCDkit-ohjelmistolla (Janousek et al. 2006).

3.3.2 Ikämäärittelyanalyysi

Ikämäärittelyanalyysin teki dosentti Hannu Huhma GTK:n laboratoriossa, Espoossa. Näyte U-Pb-analyysiin pestiin, murskattiin, separoitiin tärypöydällä ja käsiteltiin metyleenijodidi- sekä Clerici®-liuoksilla raskasmineraalifraktion erottamiseksi. Magnetoitumattomat raskasmineraalifraktiot erotettiin käyttämällä Frantz-isodynaamista separaattoria, ja lopulta baddeleyiitit poimittiin käsin analyysiä varten.

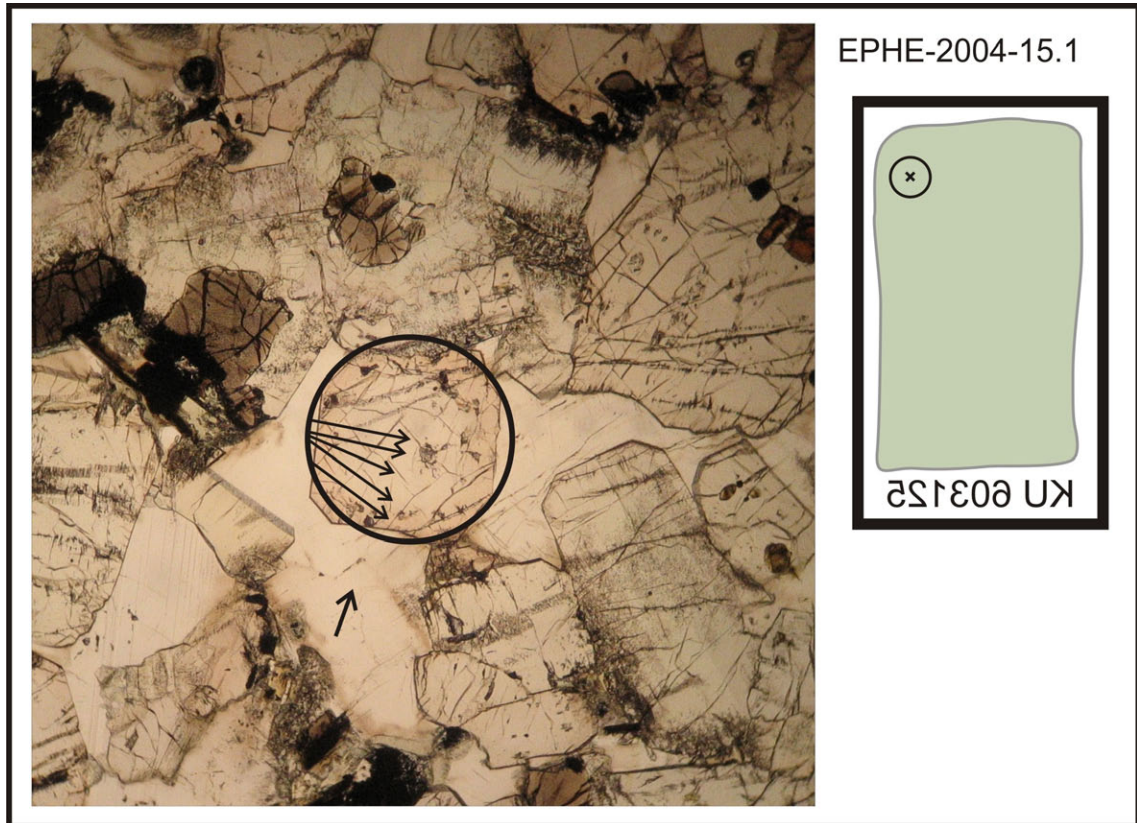
Näytteestä saatiin pieni määrä hienorakeista baddeleyiittia (ZrO₂), josta tehtiin kaksi ikämäärittelyanalyysiä. Ensimmäisessä analyysissä osassa baddeleyiittikiteitä oli tuntematon valkoinen ohut peite, joka poistettiin toista analyysiä varten ilma-abraasiomenetelmällä (Dosentti H.Huhma kirjallinen tiedonanto 2009).

Mineraalin liuotus ja uraanin ja lyijyn erotus TIMS-analyysiä varten tehtiin Kroghin (1973, 1982) kuvaamalla menetelmällä. ^{235}U - ^{208}Pb -käsittelyt ja käsittelemättömät isotooppisuhteet mitattiin käyttämällä VG Sector 54-TIMS-laitteistoa.

Mitatut lyijyn ja uraanin isotooppisuhteet normalisoitiin hyväksytyjen SRM981- ja U500-standardien mukaisiksi. Ei-radiogeenisen lyijyn korjaukset tehtiin käyttämällä Stacey'n ja Kramersin (1975) iänmukaisen lyijyisotooppikoostumuksen mallia, ja virherajoja 0,2 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ja $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) sekä 0,1 ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$). U-Pb-ikämäärittyslaskut tehtiin käyttämällä PbDat-ohjelmaa (Ludwig, 1991) ja diskordiasuoran sovitus käyttämällä Isoplot/Ex-ohjelmaa (Ludwig, 2003). Ikämäärittämisanalyysin kaikki tulokset ovat Liitteessä 6.

3.3.3 Mikroanalyysit

Ohuthieiden petrografisen tutkimuksen yhteydessä valittiin 34:sta ohuthieestä yhteensä 334 mikroanalyysipistettä GTK:n laboratorion analysoitavaksi. Mikroanalyysiin valittiin amfioleja, plagioklaaseja, pyrokseeneja sekä oksideja. Tutkimuspisteet valittiin keskittyen Toravaaran magneettisen anomalian alueelle ja sen läheisyyteen, mutta joukkoon otettiin myös vertailupisteitä ympäri kartoitusaluetta, erityisesti Ahjolan anomalian alueelta. Analysoitavien pisteiden valinnassa keskityttiin hyvin säilyneisiin pyrokseeni- ja amfibolikiteisiin. Jotta mahdollisilta kiteen vyöhykkeisyyden aiheuttamilta virheiltä välttyttäisiin, useista kiteistä analysoitiin pistesarja kiteen yli. Erityisesti amfioleista valittiin useita kiteen yli kulkevia pistesarjoja. Kuvassa 4 on esimerkki kiteen ylittävästä analyysipistesarjasta ortopyrokseenikiteessä. Mikroanalyysien tulokset mineraalikemian osalta käsiteltiin MINPET-ohjelmalla (Richard 1995). Mikroanalyysitulokset ovat Liitteissä 2,3,4 ja 5.



Kuva 4. Analysointia varten valmistettu kohdennuskartta, jossa näkyy ortopyrokseenikiteen yli kulkeva analyysipisteiden sarja. Aivan pyrokseenikiteen reunassa FeO:n osuus on kohonnut 9,5 painoprosentista yhteentoista, MgO:n osuus laskenut 30 %:sta 28,6%:n ja Al_2O_3 :n osuus kasvanut yhdestä kahteen prosenttiin.

Mikroanalyysit teki Lassi Pakkanen keväällä 2008 GTK:n laboratoriossa Cameca SX100-mikroanalysaattorilla Espoossa. Kiihdytysjännite oli 15 kV, elektronisäteen virranvoimakkuus 20 nA sekä halkaisija 5 mikrometriä. Standardeina käytettiin hyvin dokumentoituja luonnonmineraaleja (silikaatteja, oksideja, sulfideja, sulfaatteja sekä fosfaatteja) ja metallista vanadiinia (Bo Johansson, kirjallinen tiedonanto 2008).

3.4 Geotermometriset ja geobarometriset tutkimukset

3.4.1 Termobarometriasta

Kivien kiteytymislämpötila- ja paineolosuhteita selvittävä termobarometria perustuu yleisesti termodynamiikkaan ja sen avulla laskettuun mineraalien reaktiotasapainoon.

Reaktiotasapaino riippuu adiabaattisessa systeemissä systeemiin vaikuttavasta paineesta, lämpötilasta sekä systeemin koostumuksesta. Termobarometrian perusyhtälönä voidaan pitää Gibbs-Helmholtzin lauseketta, joka alla esitetään integroidussa muodossaan (Spear 1993).

$$\Delta G_T^P = 0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0 + \Delta V_s(P-1) + RT \ln K \quad (1)$$

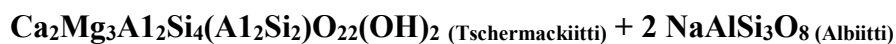
Yhtälössä ΔG on Gibbsin vapaan energian muutos, ΔH on reaktion entalpian muutos, ΔS on entropian muutos, ΔV on tilavuuden muutos, K on tasapainovakio reaktiolle, R on kaasuvakio 8,314 J/K/mol, ja T on lämpötila. Lauseke on integroidussa muodossaan yksinkertaistettu eikä ota huomioon ominaislämpökapasiteetin tai tilavuuden muutoksen riippuvuutta systeemin lämpötilasta ja paineesta (Spear 1993). Useissa tapauksissa, kuten käytetyissä klinopyrokseenibarometreissä nämä tekijät on kuitenkin otettu huomioon.

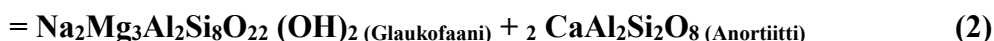
3.4.2 Diabaasien termometreistä

Diabaaseille soveltuvista termometreistä tähän tutkimukseen valittiin Hollandin ja Blundyn (1994) amfibolitermometri. Yleisesti käytettyjä muita termometrejä ovat mm. kahden pyrokseenin termometrit (esim. Kretz 1982), mutta tutkittavissa diabaaseissa ei ollut riittävästi näille termometreille sopivia ortopyrokseeni-klinopyrokseenipareja. Mafisille kiville usein käytettyjä lasi-mineraalitermometrejä ei voitu myöskään käyttää, koska ohuthietutkimuksissa ei löytynyt lasia.

3.4.3 Amfiboli-plagioklaasi-kvartsi-termometrit

Holland ja Blundy (1994) ovat esittäneet kaksi kationinvaihtoon perustuvaa termometria, toisen systeemille edeniitti + kvartsi = tremoliitti + albiitti, toisen kvartsittomalle systeemille tschermakiitti + albiitti = glaukofaani + anortiitti. Kvartsiton amfiboli-plagioklaasitermometri perustuu reaktioon:





Tschermackiitti ja glaukofaani voidaan korvata reaktiossa edeniitillä ja richteriitillä, sillä termometri ottaa huomioon koostumusvaihtelun (Holland ja Blundy 1994). Termometrin laskukaava perustuu useamman ionin vaihtoon amfibolin eri hilapaikoilla. Holland ja Blundy (1994) ovatkin kehittäneet laskujen monimutkaisuuden vuoksi tietokoneohjelman termometrin tuloksen laskemiseksi mikroanalyysidatasta.

Amfibolien kahden- ja kolmenarvoisen raudan suhde arvioitiin laskennallisesti varaustasapainoihin ja stoikiometriaan perustuen. Oletetun kahdenkymmenenkolmen hapen stoikiometrisellä kaavalla laskettiin puuttuvien kationien määrä, ja sitä kautta kaavan tasapainottamiseen tarvittava kolmenarvoisen raudan määrä analysoidussa mineraalissa. Laskut perustuivat Schumacherin (1997) esittämään menetelmään. Tuloksena oli sekä raudan jako kahden- ja kolmenarvoiseen fraktioon että muiden kationien määrä amfibolin kaavassa. Samalla laskettiin amfibolibarometriä varten näytteiden Mg-luku sekä alumiinin määrä amfibolin stoikiometrisessä koostumuksessa normalisoituna kolmentoista kationin kaavalle.

3.4.4 Diabaasien geobarometreistä

Diabaaseille soveltuvien geobarometrien on oltava käyttökelpoisia laajalla painealueella johtuen diabaasien vaihtelevasta syntysyvyydestä. Kuten termometriekin tapauksessa, myös barometrien valinnassa suurin rajoittava tekijä on diabaasien mineraalikoostumus. Suuri osa kehitetyistä barometreista perustuu peliittisten kivien metamorfisten mineraalien kuten granaatin tai Al_2SiO_5 -polymorfien reaktioihin. Diabaasien tutkimukseen sopivan barometrin on kuitenkin käytettävä muita mineraaleja ja niiden välisiä reaktioita.

Useimmat geobarometrit ovat herkkiä lämpötilalle. Tämän vuoksi geobarometrejä käytettäessä on arvioitava tai laskettava kiven kiteytymislämpötila sopivalla tavalla. Yleensä lämpötila arvioidaan sopivan geotermometrin avulla. Barometrireaktion dP/dT -kulmakertoimesta riippuen menetelmien herkkyydet lämpötilan muutoksille vaihtelevat,

mutta tavallisesti kymmenien asteiden tarkkuus riittää geobarometrin käyttöön.

3.4.5 *Amfibolibarometri*

Gerya (1997) on kalibroinut amfibolin ioninvaihtoreaktioihin perustuvan termobarometrin, joka perustuu amfibolin kidehilan A-paikalla olevaan piin ja alumiinin väliseen vaihtoreaktioon sekä reaktioon vaikuttavaan amfibolin magnesiumlukuun. Vaihtoreaktio on riippuvainen alumiinin liukoisuudesta sarvivälkkeeseen. Liukoisuus kasvaa paineen funktiona. Menetelmä on kalibroitu sekä luonnollisilla että synteettisillä mineraaleilla. Tässä tutkimuksessa lämpötila arvioitiin toisella termometrillä, joten Geryan menetelmää käytettiin paineen arviointiin. Barometri perustuu yhtälöön (3):

$$P \text{ (kbar)} = [2543 - 4,744T + 175X_{\text{Mg}} + R \ln (C_{\text{Al}} + 1,433)] / 148,1 \quad (3)$$

Missä $X_{\text{Mg}} = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ ja C_{Al} on alumiinin määrä kaavassa kalibroituina 13 kationille. Molemmat arvot laskettiin termometriä varten lasketuista amfibolianalyysien kationimääristä. X_{Mg} laskettiin yllä olevalla kaavalla, kun raudan määrästä oli erotettu kolmenarvoisen raudan määrä, ja alumiinin kationimäärä laskettiin kaavalla (4):

$$C_{\text{Al}} = \text{Al} / \text{Cat} * 13 \quad (4)$$

Missä Al on alumiinin kationimäärä ja Cat on kationien yhteismäärä analyysistä laskettuna.

3.4.6 *Klinopyrokseenibarometrit*

Nimis (1995, 1999) sekä Nimis ja Ulmer (1998) ovat kehittäneet yhteensä neljä geobarometriä, jotka perustuvat Ca-pitoisen klinopyrokseenin alkeiskopin tilavuuden ja M1-hilapaikan tilavuuden lineaariseen funktioon. Näiden avulla pystytään arvioimaan kiven syntyolosuhteita suhteellisen hyvällä tarkkuudella ja ne sopivat kemiallisesti hyvin erilaisille kiville. Menetelmiä on kokeiltu vaihtelevissa olosuhteissa ja fluidifaasin

koostumuksissa; ne on kalibroitu välille 0-24 kbar (Nimis ja Ulmer 1998, Nimis 1999). Nimisin ja Ulmerin (1998) geobarometrien virhearvio on 1.7 kbar, ja Nimisin (1999) barometrin 2 kbar. Nimisin (1995) varhaisempi geobarometri ei ole riippuvainen lämpötilasta, mutta sitä voi käyttää vain granaatittomille basalttisille magmoille, joiden Al_2O_3 on riittävän pieni. Al_2O_3 -rajauksen vuoksi barometrin soveltuvuus diabaasien syntyolosuhteiden mittaamiselle on rajallinen.

Menetelmät vaativat klinopyrokseenin tarkan pääalkuaineanalyysin. Niihin tarvitaan myös riippumaton arvio näytteen kiteytymislämpötilasta Nimisin (1995) menetelmää lukuun ottamatta. Nimisin (1999) klinopyrokseenigeobarometrin tulos voi poiketa todellisesta paineesta yhden kilobaarin jokaista lämpötilan 20 asteen virhettä kohden.

Nimisin (1995) barometri ei ota huomioon pyrokseenin alkeiskopin tai M1-hilapaikan tilavuuden muutosta lämpölaajenemisen ja puristuvuuden suhteen, vaan käyttää suoraan röntgendiffraktiolla mitattuja tai kationien määristä laskettuja tilavuuksia. Muut kolme barometria käyttävät laskennallisesti korjattuja alkeiskopin ja M1-hilapaikan tilavuuksia. Korjauslaskelmat on esitelty lyhyesti alla.

Kaikkia käytettyjä klinopyrokseenibarometrejä varten on arvioitava tai mitattava klinopyrokseenin alkeiskopin tilavuus. Tutkimuksessa tilavuus arvioitiin laskennallisesti Nimisin (1995) kehittämällä menetelmällä. Lasketut alkeiskopin tilavuudet korjattiin barometrin tarkkuuden lisäämiseksi mineraalin lämpölaajenemiskertoimella ja puristuvuudella käyttäen hyväksi mitattuja termodynaamisia arvoja ja Bermanin (1988) yhtälöä. Nimisin ja Ulmerin (1998) menetelmässä käytetyt v_i -kertoimet ovat diopsidi- (Di), hedenbergiitti- (Hd), klinoenstatiitti- (Cen), Ca-tschermackiitti- (Ct), $\text{CaFe}^{3+}\text{AlSiO}_6$ -, $\text{CaMgO}_5\text{TiO}_5\text{AlSiO}_6$ -, ja jadeiitti-päätejäsenten osalta Sackin ja Ghiorson (1994) raportoimat. Acmiitin arvot oletetaan samoiksi kuin jadeiitin ja CaCrAlSiO_6 samoiksi kuin Ca-Tschermackiitin. Klinoferrosiliitin kertoimet oletetaan yhteneväisiksi suhteessa reaktioyhtälöön:

$$v_i^{\text{Cfs}} = v_i^{\text{Hd}} - v_i^{\text{Di}} + v_i^{\text{Cen}} \quad (5)$$

Päätejäsenten osuudet laskettiin Lindsleyn ja Andersenin (1983) mukaan. M1-hilapaikan tilavuuden muutos lämpölaajenemisen ja puristuvuuden osalta korjattiin Nimisin (1995) ja Nimisin ja Ulmerin (1998) yhtälöillä. Kaikki termodynaamiset laskutoimitukset tehtiin Nimisin tätä tarkoitusta varten ohjelmoimalla taulukkolaskentaohjelmalla. Laskennassa käytettiin mainittujen geotermobarometristen laskujen lisäksi stoikiometrisen varaustasapainon oletuksella arviota mineraalin sisältämästä kolmenarvoisesta raudasta laskettuna Papiken et al. (1974) mukaan.

Kaikkien tässä esitettyjen klinopyrokseenien rakenteellisten barometrien laskukaava on samankaltainen. Alla on esitetty yleistetty kaava (6):

$$P \text{ (kbar)} = a - b \cdot V_{\text{Cell}}^{\text{corr}} - c \cdot V_{\text{M1}}^{\text{corr}} \quad (6)$$

Kaavassa $V_{\text{Cell}}^{\text{corr}}$ on korjattu alkeiskopin tilavuus ja $V_{\text{M1}}^{\text{corr}}$ on korjattu M1-hilapaikan tilavuus. Muuttujat a, b ja c riippuvat käytetystä barometristä.

Klinopyrokseenigeobarometrien etu moniin muihin magmaattisiin barometreihin nähden on riippumattomuus tarkasta magman koostumuksen tuntemisesta. Tämän vuoksi ne ovat geobarometreina erityisen hyvin soveltuvia diabaasien tutkimukseen. Ongelmiksi niissä nousee yleensä myöhempien barometrien vaatima tarkka arvio kiteytymislämpötilasta tai Nimisin (1995) barometrin rajattu soveltuvuus ainoastaan mafisille-ultramafisille granaattittomille kiville joiden Al_2O_3 on riittävän matala.

4 TULOKSET

4.1 Kenttähavaintojen tulokset

Diabaasit ovat useimmiten sarvivälkevaltaisia, massiivisia ja homogeenisia juonia, joiden leveys vaihtelee alle metristä kymmeneen metriin, mutta tyypillinen juonen paljastuneen osan leveys on kahdesta viiteen metriin. Useissa tapauksissa myöhempi metamorfoosi on tuhonnut primääriset mineraalit ja nuorien siirrosten lähellä juonet ovat voimakkaasti deformatuneet. Juonien reunoilla on havaittavissa *chilled margin*-rakennetta sekä yhdessä tapauksessa metasomaattista muuttumista reunaa myöten. Tyypillisiä makroskooppisia rakenteita ovat diabaaseille normaaliofiittinen rakenne sekä plagioklaasin ja sarvivälkkeen poikiliittinen esiintyminen. Pienissä juonissa ja juonten reunoilla rakenteet häviävät ja kivi on massiivista ja erittäin pienirakeista.

4.1.1 Ryhmittely

Alueen diabaasit voidaan jakaa kenttähavaintojen perusteella kahteen ryhmään: sarvivälke- ja pyrokseenidiabaaseihin. Tämä karkea jako perustuu pyrokseenin läsnäoloon. Pyrokseenidiabaaseissa on poikkeuksetta joukossa myös sarvivälkettä, kun taas sarvivälkediabaaseissa pyrokseeni esiintyy korkeintaan aksessorisena mineraalina. Mineralogian lisäksi nämä ryhmät erottuvat magneettisen susceptibiliteetin perusteella. Kannettavalla susceptibiliteettimittarilla mitattuna erot näiden ryhmien välillä ovat merkittävät: pyrokseenidiabaasien magneettinen susceptibiliteetti on tyypillisesti 10-2000-kertainen sarvivälkediabaaseihin verrattuna. Tämä johtunee heikommasta metamorfoosista, jolloin pyrokseenien lisäksi diabaaseissa on säilynyt myös magnetiitti.

4.1.2 Ryhmien jakautuminen

Suurin osa diabaaseista kuuluu sarvivälkediabaaseihin. Pyrokseenidiabaasit esiintyvät yksittäisinä juonina tai pieninä juoniparvina, mutta kuitenkin harvassa verattuna yleisempiin sarvivälkediabaaseihin. Poikkeuksena on Toravaaran anomalia, jonka

alueella diabaasit ovat pääasiassa pyrokseenidiabaaseja. Anomalian alueella esiintyy sarvivälkediabaaseja ainoastaan mikäli metasomatoosi on päässyt vaikuttamaan niihin.

4.1.3 Lohisärkän porfyryinen juoniparvi

Erityinen kiinnostuksen kohde alueen diabaasien joukossa on kapea Lohisärkän diabaasiparvi. Juoniparvi on paikoin yli 200 metriä leveä ja juonet sen sisällä ovat kymmeniä metrejä leveitä. Parvi ulottuu koko alueen halki länsiluode-itäkaakko-suuntaisesti. Ahjolan magneettisen anomalian alueella parvi kääntyy luode-kaakko-suuntaiseksi. Toravaaran anomalian alueella Lohisärkän parvesta on havaittavissa vain yksi paljastuma ja useita lohkarkeit, joten juoniparven tarkkaa suuntaa Toravaaran anomalian alueella ei voida määrittää. Koska muiden diabaasijuonten suunta ei muutu Toravaaran alueella, oletettavasti myös Lohisärkän parven suunta säilyy samanlaisena kuin anomalian länsipuolella.

Lohisärkän juoniparven erityispiirre muihin alueen diabaaseihin nähden on sen porfyryinen rakenne, joka tekee siitä helposti tunnistettavan. Kaikissa parveen kuuluvissa juonissa on 1-4 cm:n mittaisia plagioklaasihajarakeita, jotka ovat usein osin omamuotoisia ja ainakin osin säilyneet muuttumattomina (Kuva 5).



Kuva 5. Lohisärkän parveen kuuluvan diabaasijuonen kenttäpaljastuma, havaintopisteellä HMLA-2004-317. Plagioklaasihajarakeet ovat selvästi nähtävissä paljain silmin, eikä niissä ole selvää suuntausta. Kuva Heta Lampinen/GTK

Hajarakeet ovat melkein jokaisessa paljastumassa osin epidoottiutuneita ja joissakin paljastumissa hyvin repaleisia, mutta yleinen rakenne on homogeeninen koko juoniparven alueella, minkä vuoksi kaikki paljastumat ovat tunnistettavissa kentällä.

Lohisärkän juoniparven tärkein rooli alueen tutkimisessa on selkeä tunnistettavuus myös maastossa ja mahdollisuus seurata juoniparvea koko alueen halki, jolloin sen kulun perusteella voidaan tehdä päätelmiä varhaisproterotsooisista liikunnoista.

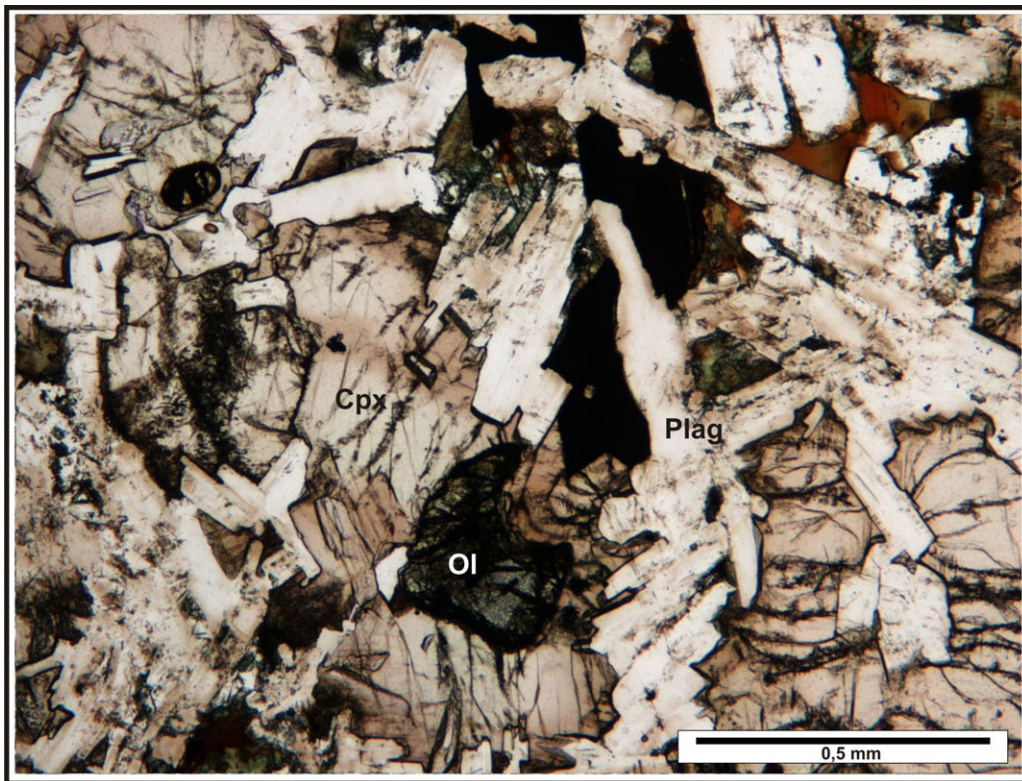
Lohisärkän juonen havainnot ovat pääasiassa itäkaakko-länsiluode-suuntaisia Toravaaran ja Ahjolan anomalioiden välillä, mutta parvi kääntyy luode-kaakko-suuntaiseksi Ahjolan anomalian alueella. Havaintojen ja aeromagneettisen kartan perusteella voidaan päätellä juonen kulkevan Toravaaran anomalian alueella itä-länsisuuntaisesti useita kilometrejä pohjoisempaan verrattuna sen sijaintiin anomalian ulkopuolella.

4.2 Petrografian tulokset

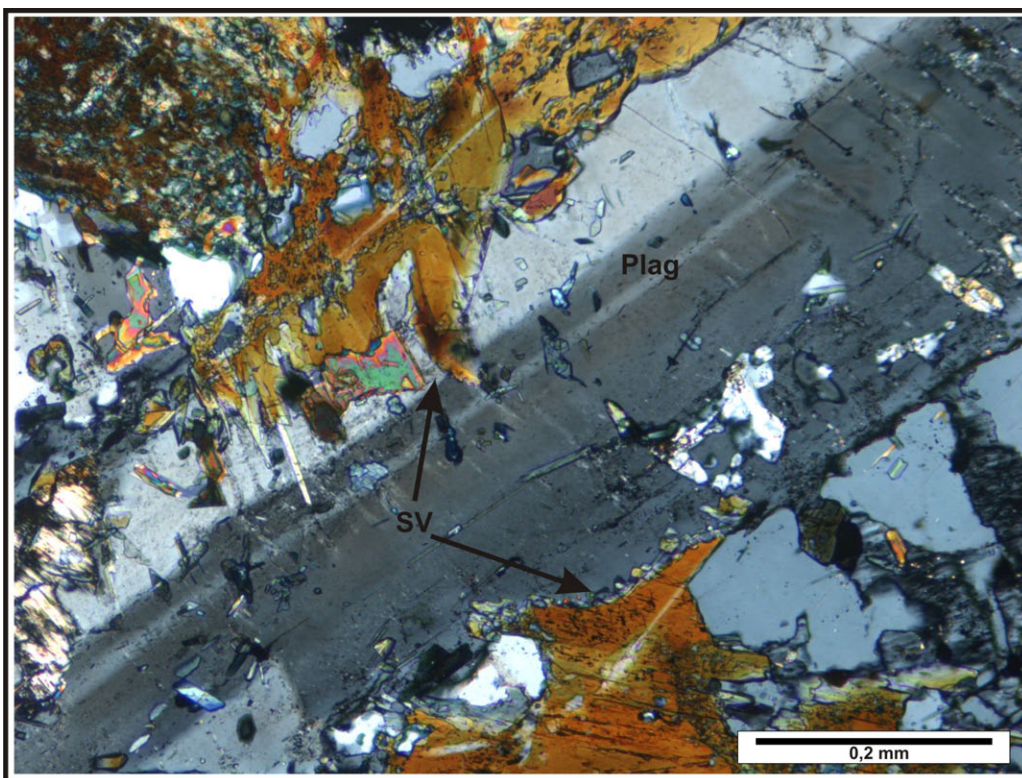
Päämineraaleina tutkituissa diabaaseissa ovat plagioklaasi ja opaakit mineraalit sekä vaihtelevasti sarvivälke, ortopyrokseeni tai klinopyrokseeni. Opaakkina esiintyy yleensä rakenteeltaan lamellaarista ilmenomagnetiittia. Aksessorisina mineraaleina esiintyy apatiittia, epidootia, kloriittia, leukokseeniä, karbonaatteja, biotiittia, oliviinia, serisiittia, saussuriittia, kalimaasälpää ja alkaliambfibolia. Biotiitti, kloriitti, epidootti, saussuriitti ja leukokseeni ovat joskus päämineraaleja, mutta aina sekundäärisiä. Kalimaasälpää esiintyy muutamassa hieessä kirjomaasälpäsuotaumina plagioklaasirakeissa. Oliiviinia esiintyy kahdessa hyvin säilyneessä pyrokseenidiabaasissa Toravaaran anomalian alueella. Alkaliambfioleja esiintyy satunnaisesti pieninä pyrokseenia korvaavina rakeina täysin plagioklaasin ympäröimänä.

Tyypilliset muuttumisketjut mineraaleissa ovat pyrokseenit → amfibolit → biotiitti → kloriitti, plagioklaasi → saussuriitti tai epidootti sekä opaakki (ilmenomagnetiitti) → leukokseeni. Sarvivälkediabaaseissa mineraalit plagioklaasia ja opaakkeja lukuun ottamatta ovat sekundäärisiä, joskin sarvivälke on useissa tapauksissa hyvin kiteytynyt ja säilyttää kiven alkuperäisen rakenteen.

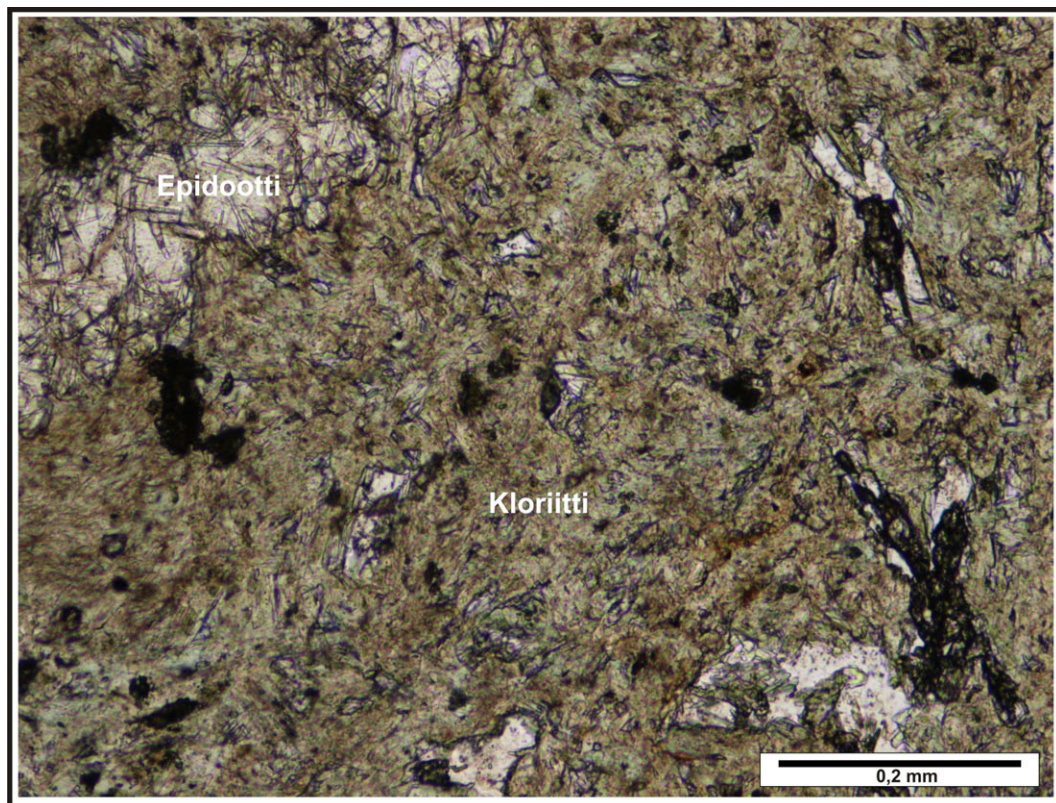
Diabaasit ovat useimmiten ofiittisia tai subofiittisia. Erityisesti pyrokseenidiabaaseissa ofiittinen rakenne on hyvin säilynyt (Kuva 6). Sarvivälkediabaaseissa ofiittisuus vaihtelee hyvin säilyneestä täysin kadonneeseen. Pyrokseenin muuttuminen sarvivälkkeeksi on useissa tapauksissa aiheuttanut ylikasvua plagioklaasirakeitten yli, jolloin ofiittinen rakenne hajoaa (Kuva 7). Rakenne on voimakkaimmin muuttunut diabaasien reunavyöhykkeillä, joissa pienirakeisen *chilled margin* -alueen lisäksi on usein vaikuttanut voimakas metasomatoosi. Tällaisissa tapauksissa koko rakenne ja mineralogia on muuttunut jättäen jäljelle hienorakeisen kloriitti-epidootti-plagioklaasimassan (Kuva 8). Sama rakenne esiintyy myös voimakkaasti hiertyneissä diabaaseissa, joissa lisäksi on havaittavissa suuntaus.



Kuva 6. Hyvin säilynyt pyrokseenidiabaasi paljastumalta PIM\$-2006-108. Kuvassa näkyy myös kahdella paljastumalla esiintynyt oliviini, joka on myös säilynyt varsin hyvin. Plag = plagioklaasi, Cpx = klinopyrokseeni, Ol = Oliiviini



Kuva 7. Sarvivälkkeen ylikasvettuma plagioklaasin yli paljastumalla MTL1-2003-109. SV = sarvivälke, Plag = plagioklaasi.



Kuva 8. Voimakkaasti muuttunut diabaasi juonen reunasta, jossa kaikki rauta-magnesiummineraalit ovat muuttuneet kloriitiksi ja epidootiksi. Näyte paljastumalta SOMA-2006-80.

Diabaasien alkuperäisen magman koostumuksen perusteella on oletettavaa, että kaikki diabaasit ovat alunperin olleet mineralogialtaan plagioklaasi + pyrokseeni + ilmenomagnetiitti \pm oliviini \pm apatiitti, mutta alueellinen metamorfoosi on muuttanut suurimman osan pyrokseenista sarvivälkkeeksi ja biotiitiksi. Tutkitut diabaasit voidaan mineralogian perusteella jakaa kolmeen ryhmään:

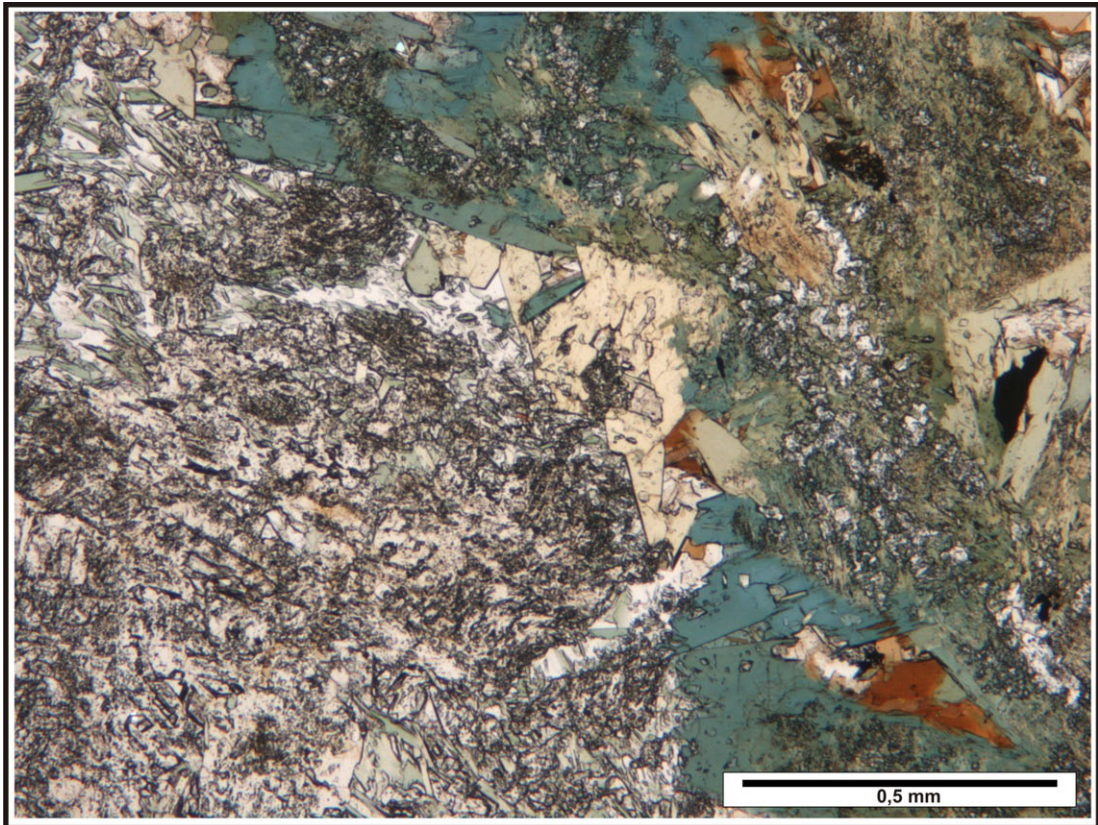
- 1) Hyvin säilyneet pyrokseenidiabaasit,
- 2) Sarvivälkediabaasit ja
- 3) Porfyyriset diabaasit.

Ensimmäinen ryhmä on mineralogialtaan orto- tai klinopyrokseeni + plagioklaasi + opaakki \pm sarvivälke \pm oliviini. Niissä raekoko on pienirakeisesta keskirakeiseen, plagioklaasi on omamuotoista ja plagioklaasin välejä täyttävä pyrokseeni on osin omamuotoista. Rakenne on kokonaisuudessaan ofiittinen eikä suuntausta ole havaittavissa. Oliiviini esiintyy aina omamuotoisina erillisinä kiteinä, jotka ovat

bastiittiutuneet. Joissakin tapauksissa pyrokseenit ovat alkaneet hajota sarvivälkkeeksi reunoiltaan. Paikoitellen jopa kokonaiset kiteet ovat muuttuneet amfiboliksi. Sarvivälke ei kuitenkaan ole kasvanut plagioklaasin yli. Esimerkki pyrokseenidiabaasista on Kuvassa 6.

Sarvivälkediabaasit (Kuvat 7 ja 8) ovat mineralogialtaan plagioklaasi + sarvivälke ± klinopyrokseeni ± biotiitti ± opaakki ± karbonaatti ± kloriitti ± epidootti. Näiden lisäksi esiintyy saussuriittia ja muita hienorakeisia muuttumistuloksia. Plagioklaasi on pääosin omamuotoista, mutta myös sarvivälkкен ylikasvettumia esiintyy. Serisiittiytyminen, epidoottiutuminen ja saussuriittiutuminen on yleistä. Pyrokseenia esiintyy vain jäänteinä sarvivälkekiteiden keskellä. Sarvivälke on useimmiten osittain biotiittiutunut tai kloriittiutunut. Ilmenomagnetiitti on osin tai kokonaan muuttunut leukokseeniksi. Rakenne on ofiittinen, ellei deformaatio tai kiteitten ylikasvu ole muuttanut sitä voimakkaasti. Raekoko on tyypillisesti hienorakeisesta pienirakeiseen, harvoin keskirakeinen.

Porfyryisiin diabaaseihin kuuluvat Lohisärkän juoniparven paljastumat. Mineralogia on plagioklaasi + sarvivälke + epidootti + kloriitti + biotiitti ± opaakki ± leukokseeni. Rakenne on porfyyrinen, ja hajarakeet ovat plagioklaasi-kloriitti-epidoottirykelmiä, jotka ovat mekaanisesti deformatuneet ja usein repaleisia reunoiltaan (Kuva 9). Hajarakeitten ulkopuolella rakenne on verrattavissa muihin sarvivälkediabaaseihin siten, että porfyyriset diabaasit ovat aina jonkin verran deformatuneita ja aina pienirakeisia. Sarvivälke on aina osin muuttunut biotiitiksi, ilmenomagnetiitti leukokseeniksi sekä plagioklaasi epidootiksi ja saussuriitiksi. Joissakin tapauksissa on nähtävissä heikkoa suuntausta.



Kuva 9. Mikroskooppikuva Lohisärkän juoniparven porfyirisestä diabaasista paljastumalta EPHE-2004-195. Kuvan vasemmassa reunassa näkyy suurelta osaltaan epidootittunut ja pirstaleinen plagioklaasihajare.

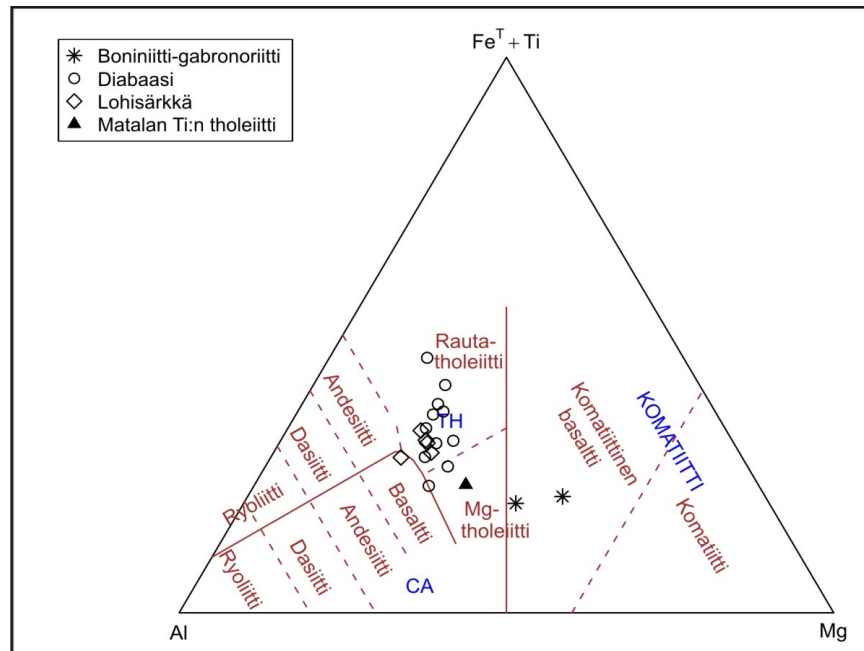
4.3 Geokemian tulokset

Alla on esitetty geokemiallisten analyysien tulokset erilaisilla diagrammeilla. Kuvaajista on yleisesti havaittavissa analysoitujen kivien homogeenisyys. Tuloksista on poistettu näyte MTL1-2003-100, sillä geokemian perusteella se on arkeeinen amfiboliitti eikä deformatunut diabaasi.

4.3.1 Pääalkuainekuvaajat

Jensenin (1976) kationikuvaaja (Kuva 10) luokittelee analyysit kivilajityyppeihin alumiini-, magnesium- ja rauta-titaanipitoisuuden mukaan. Diabaasit osuvat pääasiassa tholeiittien kenttään muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Kahdessa pyrokseenivaltaisessa diabaasissa Mg:n määrä on niin suuri, että ne voidaan luokitella

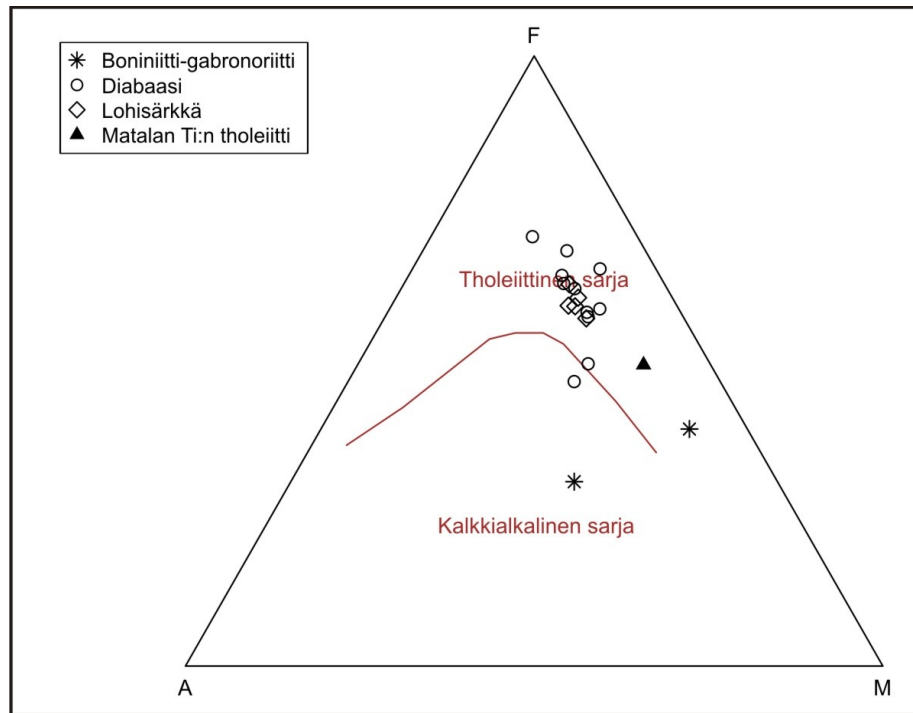
komatiittisiksi basalteiksi, kun taas pari voimakkaasti muuttunutta diabaasia ovat rikastuneet Al:stä ja putoavat tholeiittikentän vasemmalle puolelle.



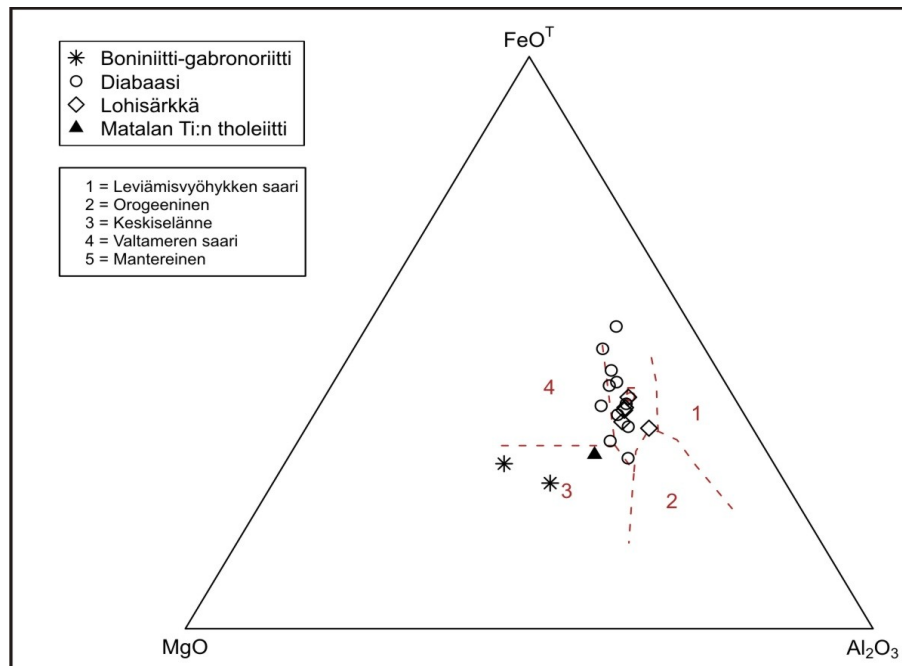
Kuva 10. Jensenin (1974) kationikuvaaja. Suurin osa näytteistä osuu tholeiitteihin, joko rauta- tai magnesiumtholeiitteihin. Kaksi komatiittien kenttään osuvaa näytettä kuuluvat vanhempiin boniniittigabbbronoriittijuoniin.

AFM-kuvaaja (Irvine ja Baragar 1971) luokittelee kivet koostumuksensa mukaan kalkkialkaliseen tai tholeiittiseen kivilajisarjaan (Kuva 11). Sen mukaan lähes kaikki diabaasit ovat tholeiittiseen sarjaan kuuluvia. Kalkkialkaliseen sarjaan tämän luokittelun mukaan kuuluvat näyte PIMS-2006-8.1, joka kuuluu vanhempiin boniniittigabbronoriiittisiin juoniin sekä voimakkaasti muuttunut diabaasi JJE\$-2005-54.1.

Geotektoninen kuvaaja (Pearce et al. 1977) luokittelee basalttiset kivet koostumuksensa perusteella eri tektonisiin ympäristöihin kuuluviksi (Kuva 12). Analysoidut kivet kuuluvat pääosin mantereisiin basaltteihin, joskin muutama piste osuu merellisiin keskiselänteen basaltteihin. Viimeksi mainitut kuuluvat vanhempien boniniitti-gabbronoriittijuonien ryhmään.

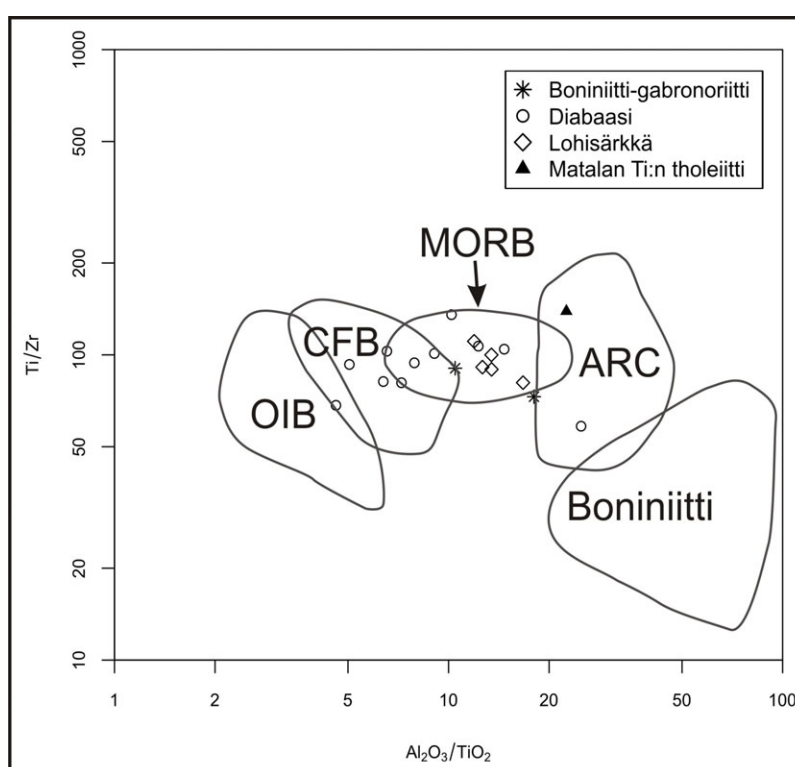


Kuva 11. AFM-kuvaaja kiven luokitteluun. Diabaasit ovat pääosin tholeiittisen sarjan kentässä tiukassa ryhmässä. Hajallaan olevat näytteet kuuluvat vanhempiin gabronoriittijuoniin.



Kuva 12. Geotektoninen kuvaaja (Pearce et al. 1977). Diabaasit osuvat suurimmaksi osaksi matereisten basalttien kenttään. Vanhemmat boniniitti-gabronoriittijuonet sen sijaan osuva merellisten basalttien kenttään.

Wilsonin ja Versfeldtin (1994) kuvaaja on myös geotektonisen ympäristön indikaattori, mutta pääalkuaineiden sijaan se käyttää $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ -suhdetta verrattuna Zr/Ti :n suhteeseen. Suhdeluvut ovat stabiilimpia kuin pelkät pääalkuaineet ja siksi parempia mittareita muuttuneille kiville. Kuten Kuvasta 13 on havaittavissa, tutkitut kivet sijoittuvat mantereisten laakiobasalttien ja kaaribasalttien väliin, yleisesti keskiselänteiden basalttien kenttään. Tulokset sopivat hyvin yhteen repeämisvyöhykkeen juoniparviin kanssa.

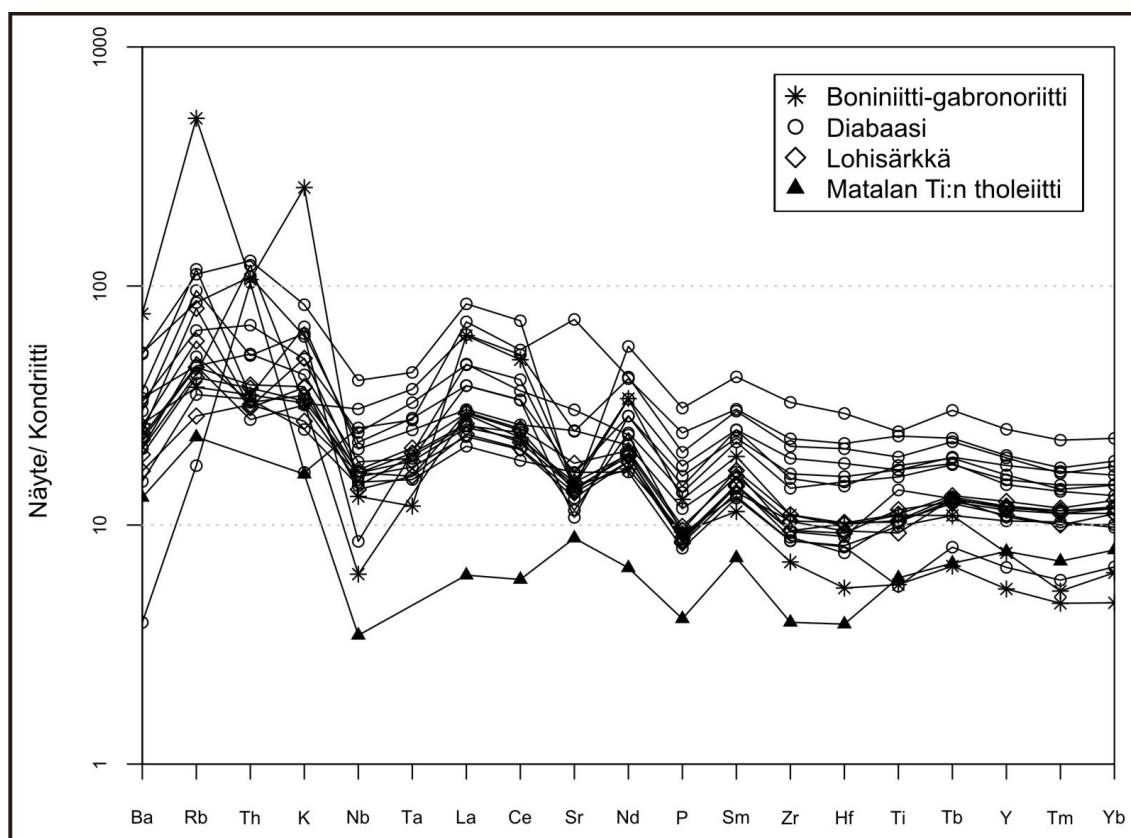


Kuva 13. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ vs. Ti/Zr -kuvaaja (Wilson ja Versfeldt 1994). Lyhennelmät: OIB: Valtameren saaribasaltti, CFB: Mantereinen laakiobasaltti, MORB: Keskiselänteiden basaltti, ARC: Mantereinen kaaribasaltti. Diabaasit asettuvat linjalle mantereisista laakiobasalteista keskiselänteiden basaltteja kohti.

4.3.2 Hivenalkuaineanalyysi

Hivenalkuaineanalyysi normalisoituna kondriittien koostumuksen suhteen osoittaa diabaasien olevan tyypillisiä proterotsooisia diabaaseja (Vuollo ja Huhma 2005) (Kuva 14). Niissä ovat rikastuneet kaikki hivenalkuaineet, ja suuri-ioniset litofiliset alkuaineet (LILE) ovat rikastuneet suhteessa enemmän kuin raskaat harvinaiset maametallit

(HREE). Ainoa poikkeus tähän on näyte BBT\$-2005-12, jossa LILEt ovat rikastuneet vähemmän suhteessa HREE:n.

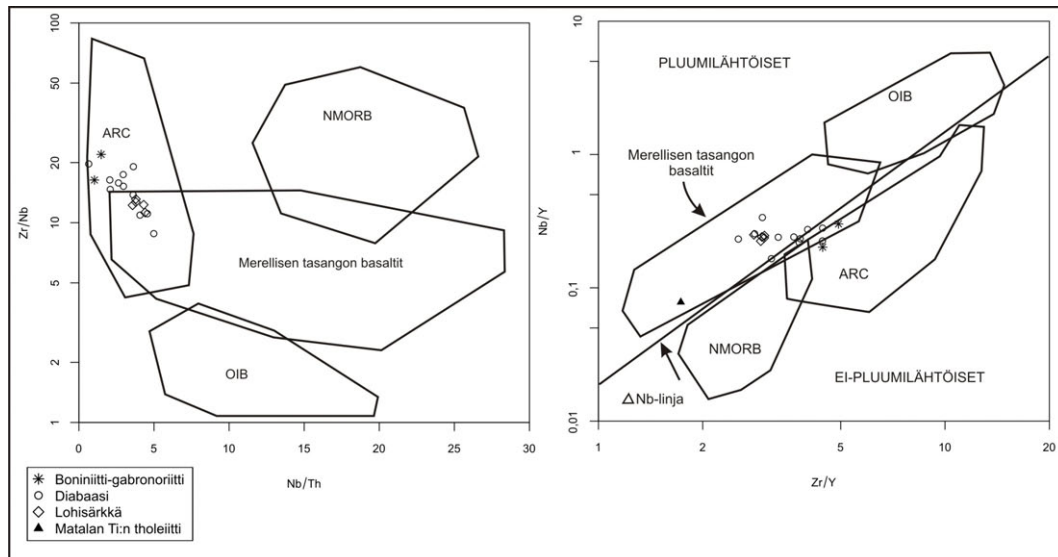


Kuva 14. Hivenalkuainediagrammi normalisoituna kondriitin koostumukselle (Thompson 1982). Diabaasit ovat rikastuneet kaikista analysoiduista alkuaineista. Suuri-ioniset litofiliset alkuaineet (LILE) ovat rikastuneet suhteessa enemmän kuin raskaat maametallit (HREE). Poikkeuksen tekee diabasi BBT\$-2005-12 (ainoa matalan Ti:n tholeiitti), jossa LILE:t ovat rikastuneet suhteessa vähemmän.

4.3.3 Magman lähteen arviointi

Diabaasien magman lähdettä arvioitaessa voidaan käyttää Condien (2005) sopeutumattomien alkuaineiden suhdediagrammeja. Sopeutumattomien alkuaineitten suhteet ovat kivien uudelleenmuokkauksessa verraten muuttumaton ominaisuus, joten sitä voidaan käyttää magman lähdettä arvioitaessa (Condie 2005). Nb/Th vs. Zr/Nb-suhdediagrammi määrittää magman kuorellisen rikastumisen astetta, kun taas Zr/Y vs. Nb/Y-diagrammia käytetään osoittamaan pluumin vaikutusta magman lähtöaineena. Analysoidut diabaasit ovat melko tiiviissä ryhmässä kummassakin diagrammissa (Kuva

15). Magman lähteessä on selvä pluumin vaikutus ja materiaali on selvästi kuoressa rikastunutta. Tulos sopii repeämisvyöhykkeen mantereisille diabaaseille.

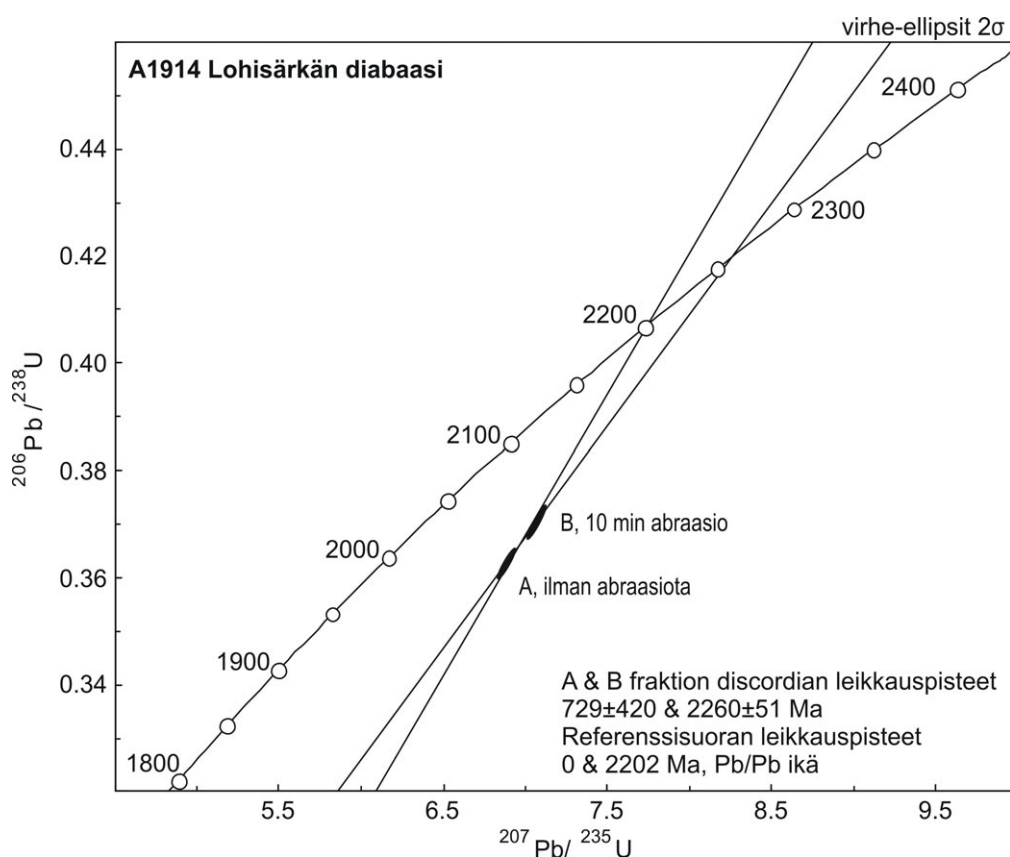


Kuva 15. Condien (2005) sopeutumattomien alkuaineiden diagrammit. Lyhenteet: ARC: Mantereinen kaaribasaltti, NMORB: keskiselänteen basaltti, OIB: Valtameren saarten basaltti. Diabaasit ovat materiaaliltaan pluumilähtöisiä, mutta niissä näkyy selvä kuoren kontaminaatio, erityisesti Nb/Th vs. Zr/Nb-diagrammilla.

Geokemiallisten analyysien perusteella diabaasit ovat siis homogeenisiä muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Nämä poikkeukset kuuluvat vanhempiin, harvinaisempiin juoniparviin tai ne ovat voimakkaasti muuttuneita diabaaseja.

4.4 Ikämäärityksen tulokset

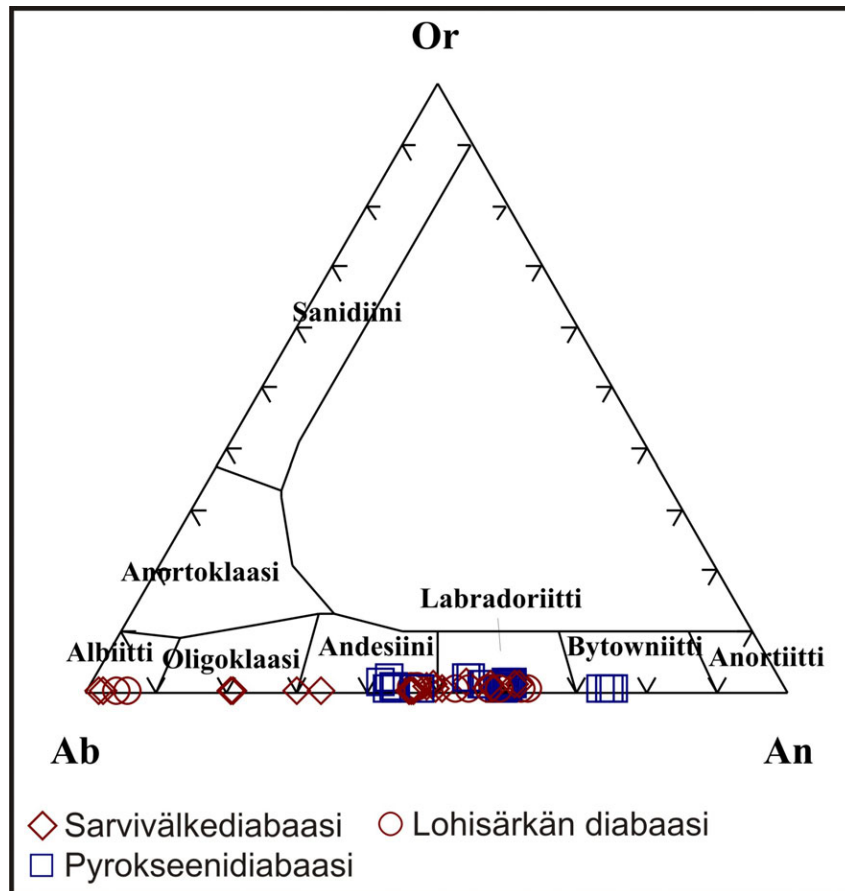
Ikänäytteestä A1914 analysoitiin kaksi baddeleyiittifraktiota. Molemmat fraktiot sisälsivät runsaasti ei-radiogeenistä lyijyä ja tulokset olivat diskoordantteja. Koska datapisteet ovat lähellä toisiaan (Kuva 16), niiden kautta kulkevalla regressiosuoralla on korkea virheraja, ja ylempi konkordian leikkauspiste on 2260 ± 51 Ma. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -ikä 2,21 Ga antaa juonen minimi-ian.



Kuva 16. Lohisärkän diabaasin baddeleyiittistä tehdyn uraani-lyijy-ikä-määrityksen konkordiadiagrammi. Näyte ikämääritystä varten on paljastumasta EIPO-2004-29, Lohisärkältä, Suomussalmelta. Fraktiossa A baddeleyiittikiteissä oli päällä tuntematonta valkoista ainetta. Tämä poistettiin lyhyellä ilma-abraasiolla fraktiosta B.

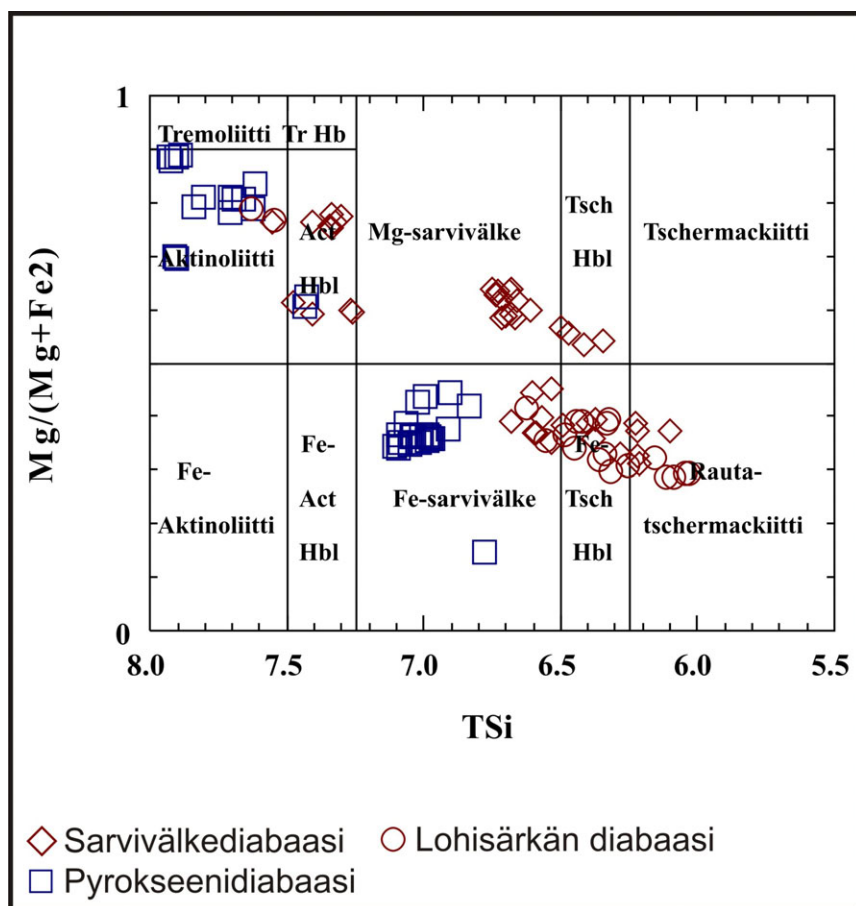
Lohisärkän diabaasi on siis iältään vähintään 2,21 Ga, eli yleisimpiä 1,98 diabaaseja merkittävästi vanhempi.

4.5 Mineraalikemian tulokset



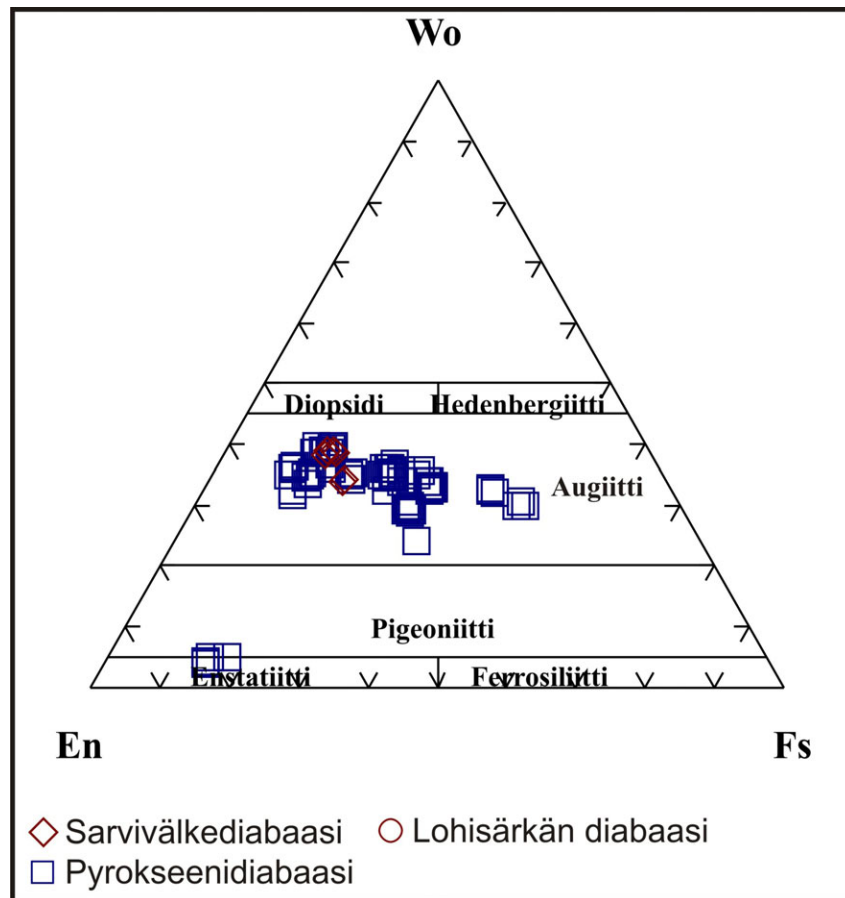
Kuva 17. Plagioklaasien mikroanalyysit esitettynä anortiitti-, albiitti-, ja ortoklaasikomponenttien pitoisuuden (An, Ab, Or) mukaan. Valtaosa analyyseista on andesiinisia tai labradoriittisia plagioklaaseja. K:n pitoisuudet plagioklaaseissa olivat kaikissa tapauksissa häviävän pienet.

Mineraalikemian tulokset ovat yleisesti kohtuullisen samankaltaisia koko alueella. Plagioklaasin mikroanalyysitulokset on esitetty Kuvassa 17. Lähes kaikki analyytit ovat andesiinisin ja labradoriitin koostumuksien kentässä ($An_{40}-An_{70}$), ja vain muutama sarvivälkediabaasin plagioklaasi sisältää vähemmän anortiittia. Yhden pyrokseenidiabaasin plagioklaasi on bytowniittinen. Kahdessa diabaasissa plagioklaasin koostumus on albiittinen. Toinen albiiteista on Lohisärkän paljastumasta BBT\$-2005-15.1.



Kuva 18. Amfibolien mikroanalyysit esitettynä kokonaissilikan suhteena magnesiumlukuun. Pyrokseenidiabaasien amfibolit muodostavat oman ryhmänsä, kun taas sarvivälkediabaasit ja Lohisärkän diabaasit ovat koostumukseltaan samankaltaiset.

Amfibolit ovat koostumukseltaan hajanaisin tutkittu mineraaliryhmä. Analysoidut amfibolit ovat kaikki kalsiumamfiboleja, joskin niiden piipitoisuus ja magnesiumluku vaihtelevat melkoisesti (Kuva 18). Suurin osa amfiboleista on sarvivälkkeitä. Poikkeuksena pyrokseenidiabaaseissa esiintyy aktinoliittia ja sarvivälkediabaaseissa aktinoliittia ja tschermackiittia. Lohisärkän juonien ja sarvivälkediabaasien amfibolien koostumukset ovat yleensä totaalisilikaltaan korkeampia kuin pyrokseenidiabaasien amfibolien. Pyrokseenidiabaasien amfiboleista valtaosa on Fe-sarvivälkkeitä. Yksittäisten kiteiden halki kulkevien analyysien perusteella vyöhykkeellisten amfibolien Mg-luku ja Si:n osuus kasvaa kohti kiteen keskusta. Samalla Fe:n ja Al:n osuus pienenee. Näistä Al ja Mg muuttuvat suhteessa eniten. Si:n ja Fe:n muutos on maksimissaan n. 10%:n ja Mg:n ja Al:n n. 30%:n luokkaa.



Kuva 19. Pyrokseenien mikroanalyytit esitettynä wollastoniitti-, ferrosiliitti-, ja enstatiittikomponenttien (Wo, En, Fs) mukaan. Kaikki analysoidut pyrokseenit yhtä enstatiittia lukuun ottamatta ovat augiittia vaihtelevalla Mg-Fe-suhteella.

Analysoidut pyrokseenit ovat yhtä enstatiittia lukuunottamatta augiittia (Kuva 19). Pyrokseenien raudan ja magnesiumin pitoisuus vaihtelee, kun taas kalsiumin pitoisuus pysyy suhteellisen vakaana. Toisin kuin amfiboleissa, pyrokseeneissa yhden kiteen sisäinen vaihtelu on hyvin pientä. Suurin vaihtelu oli ainoassa ortopyrokseenissa EPHE-2004-15. Aivan kiteen reunassa raudan ja alumiinin osuus oli kohonnut magnesiumin kustannuksella

4.6 Amfibolitermometrin tulokset

Tässä tutkimuksessa käytettiin Hollandin ja Blundyn (1994) ohjelmaa ajamaan 29 termometrianalyysiä. Termometritulokset laskettiin kaikille niille näytteille, joille oli saatavissa sekä amfibolin että plagioklaasin pääalkuaineanalyysi. Näytteitä oli yhteensä

20, joista kaikista laskettiin analyysien keskiarvon mukainen lämpötila, jotta savutettaisiin mahdollisimman yleistettävissä oleva lämpötila. Yhdeksästä näytteestä laskettiin lisäksi kiteen keskiosan lämpötila johon metamorfinen uudelleenkiteytyminen vaikuttaa heikommin. Termometrianalyysijä oli siis yhteensä 29, joista 24:sta sain geotermometrillä laskettua lämpötilan. Yhteensä neljästä näytteestä analyysit eivät tuottaneet tulosta: kolme näistä oli kaksoisanalyysijä keskiarvosta ja kiteen ytimeistä ja yksi oli pelkkä keskiarvo. Kyseisissä näytteissä plagioklaasi oli pelkkää albiittia, tai amfibolin kationit ylittivät reaktiotasapainon asettamat rajat. Termometritulokset on esitetty Taulukossa 1.

Tuloksissa valittiin edustavaksi lämpötilaksi ensisijaisesti se tulos, joka on paineesta riippumaton, toissijaisesti arvioidulle paineelle (n. 2-6 kbar) sopivin laskettu lämpötila mikäli termometrin tulokset olivat voimakkaasti paineesta riippuvaiset. Jos termometrien (ed-ri tai ed-tr) tulokset poikkesivat voimakkaasti toisistaan, valittiin vähemmän paineesta riippuvainen termometri. Mikäli näytteestä ei löytynyt mikroskooppitutkimuksissa kvartsia, edeniitti-richteriittitermometrin tuloksia ei käytetty.

4.7 Amfibolibarometrin tulokset

Geryan (1997) amfibolibarometrillä laskettiin paine kaikille 24 näytteelle, joille saatiin onnistuneesti kiteytymislämpötila käytetyllä termometrillä. Barometrin tulokset on esitetty Taulukossa 1.

Tulokset ovat korkeamman (>700 °C) lämpötilan näytteille kauttaaltaan huomattavan pieniä, useissa tapauksissa negatiivisia. Pienet tulokset johtuvat oletettavasti amfibolien matalasta alumiinipitoisuudesta, sillä barometrin kokeilu pienemmällä lämpötilalla tai magnesiumluvun muuttaminen ei tuottanut merkittävää muutosta paineeseen.

Taulukko 1. Termometritulokset Hollandin ja Blundyn (1994) amfiboli-plagioklaasitermometristä. sekä Geryan (1997) amfibolibarometrin tulokset. Sarakkeissa T(C) lämpötila, P (kbar) paine, C(Al) amfibolin sisältämä alumiini normalisoituna 13 kationin kaavalle ja Xmg amfibolin magnesiumluku ($Mg / (Mg + Fe^{2+})$)

Näyte:	T (C)	P (kbar)	C(Al)	Xmg
EPHE-2004-159.1	610	5,0	2,34	0,20
EIPO-2004-29.1	620	5,9	2,70	0,17
KRRO-2004-9.1	629	0,6	1,34	0,01
KRRO-2004-9.1 ydin	870	-3,9	1,27	0,12
SOMA-2006-259.1	636	5,0	2,46	0,20
BBT\$-2005-220.1	640	4,0	2,09	0,37
BBT\$-2005-220.1 ydin	640	4,5	2,23	0,36
BBT\$-2005-7.1	640	4,5	2,32	0,21
EPHE-2004-163.1	640	5,5	2,64	0,19
EPHE-2004-163.1 ydin	620	4,8	2,33	0,17
HMLA-2004-326.1	660	3,5	2,09	0,24
HMLA-2004-326.1 ydin	640	3,9	2,13	0,24
JJE\$-2005-13.1	720	1,2	1,69	0,41
MTL1-2003-80.1	720	1,8	1,88	0,24
PIM\$-2003-597.1	760	0,8	1,72	0,50
PIM\$-2003-597.1 ydin	790	0,3	1,72	0,50
HMLA-2004-28.2	785	-4,0	0,93	0,24
HMLA-2004-28.2 ydin	790	-3,5	1,03	0,24
PIM\$-2003-521.1	790	-0,7	1,52	0,43
KKK1-2003-131.1	800	-4,7	0,88	0,20
PIM\$-2006-4.1	830	-5,2	0,90	0,20
PIM\$-2006-4.1 ydin	845	-5,1	0,98	0,20
MTL1-2003-119.2	840	-5,9	0,83	0,20
MTL1-2003-136.1	840	-5,3	0,92	0,21

4.8 Klinopyrokseenibarometrien tulokset

Nimisin (1995, 1999) sekä Nimisin ja Ulmerin (1998) geobarometreillä analysoitiin 19 näytettä. Näytteistä kymmenessä oli liian pieni Mg-luku ($Mg / (Mg + Fe^{2+})$) Nimisin (1995) menetelmälle ja Nimisin ja Ulmerin (1998) vedettömien magmojen menetelmälle. Näin yhdeksälle näytteistä saatiin neljä barometritulosta ja lopuille kymmenelle kaksi barometritulosta. Tulokset on esitetty Taulukossa 2.

Taulukko 2. Klinopyrokseenibarometrien tulokset. Toisessa sarakkeessa on amfiboli-termometristä saatu lämpötila, seuraavissa klinopyrokseenigeobarometrien tulokset. Barometrit: BA = Nimisin (1995) barometri vedettömille basalttisille kiville, BH = Nimisin ja Ulmerin (1998) barometri vedellisille basalttisille kiville, TH = Nimisin (1999) barometri tholeiittisille kiville ja MA = Nimisin (1999) barometri intermediäärisen koostumuksen kiville. NA merkitsee näytteen liian matalaa Mg#:a kyseisen barometrin toiminnalle.

Näyte:	T (C)	P(BA) kbar	P(BH) kbar	P(TH) kbar	P(MA) kbar
EPHE-2004-10.1	830	4,6	23	17,1	22,4
EPHE-2004-10.1 ydin	830	4,4	22,4	16,4	21,1
EPHE-2004-97.2	830	4,1	22,5	16,9	22,1
EPHE-2004-97.2 ydin	830	3,8	22	16,3	21,1
HMLA-2004-28.2	790	1,2	19,8	15	20,2
HMLA-2004-28.2 ydin	790	0,6	18,6	13,9	18,6
KKK1-2003-131.1	800	NA	NA	10,1	17
KKK1-2003-131.1 ydin	800	NA	NA	11,8	19
KRRO-2004-9.1	865	NA	NA	10,6	17,5
KRRO-2004-9.1 ydin	865	NA	NA	12,5	20,5
MTL1-2003-119.2	835	NA	NA	9	14,7
MTL1-2003-119.2 ydin	835	NA	NA	9,5	15,5
MTL1-2003-136.1	840	NA	NA	5	11,8
MTL1-2003-136.1 ydin	840	NA	NA	7,7	14,2
MTL1-2003-18.1	830	2,2	19,3	14,7	19,7
MTL1-2003-18.1 ydin	830	1,1	17,6	13,6	18,8
PIM\$-2003-526.1	830	1	17,5	13,4	18,2
PIM\$-2003-526.1 ydin	830	0,9	17,3	13,1	17,4
PIM\$-2006-4.1	840	NA	NA	10,1	15,9

Kuten taulukosta voidaan havaita, painearviot eri menetelmillä vaihtelevat suuresti. Nimisin (1999) intermediäärisille magmoille tarkoitettu barometri antaa systemaattisesti epäuskottavan korkeita paineita. Nimisin ja Ulmerin (1998) barometrin tulokset ovat matalampia, mutta silti juonikiville erittäin suuria. Nimisin (1995) emäksisten ja ultraemäksisten magmojen barometri taas tuottaa erittäin pieniä tuloksia.

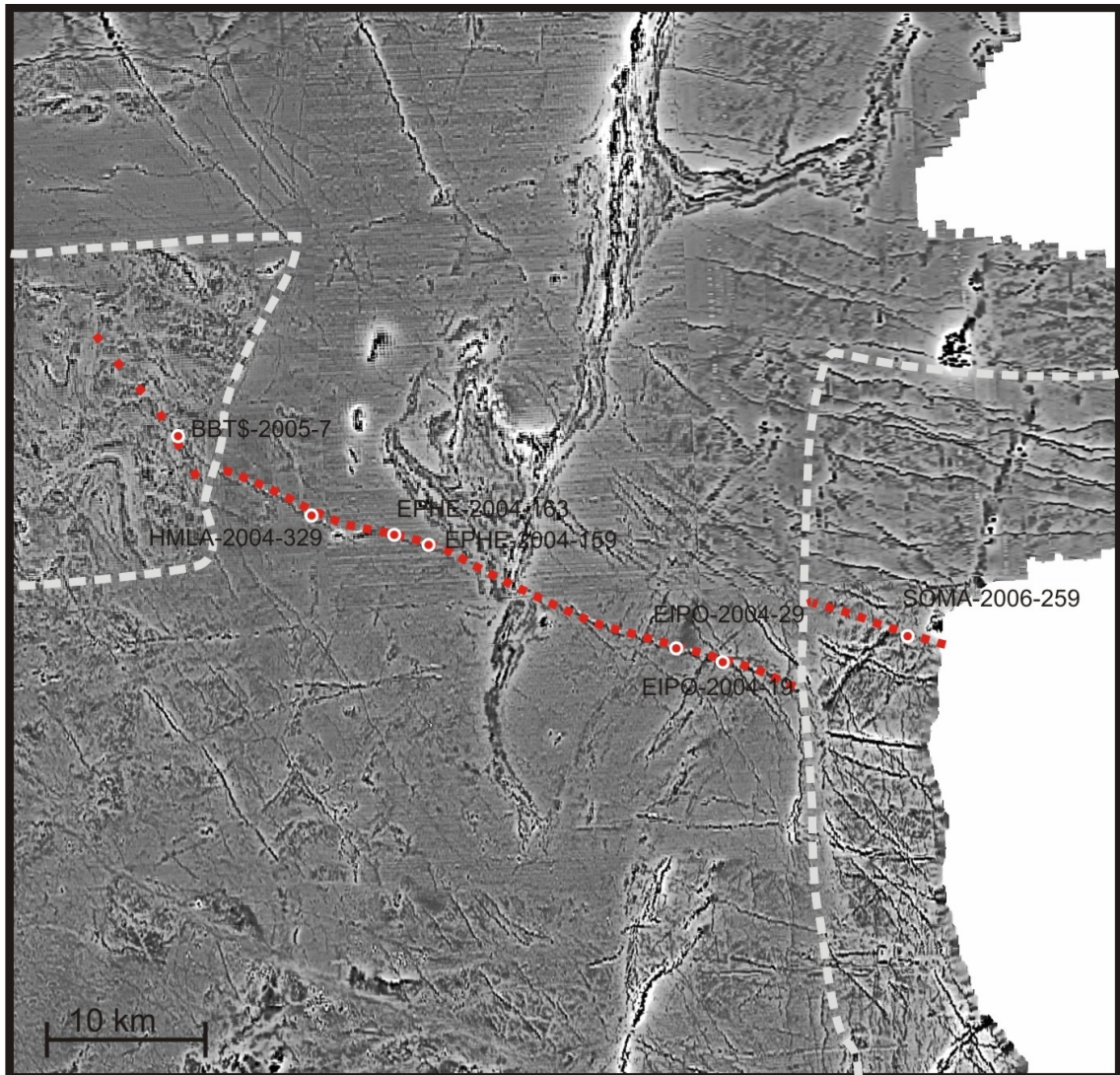
5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Kenttätutkimukset ja petrografia

Kenttätutkimusten perusteella diabaaseissa on selvä jako pyrokseenidiabaaseihin ja sarvivälkediabaaseihin. Tämä jako paljastaa lähinnä diabaasien erilaisen metamorfoosin: sarvivälkediabaasit ovat pyrokseenidiabaaseja merkittävästi muuttuneempia. On todennäköistä, että saman ikäiset diabaasit alueella ovat olleet kiteytymisensä aikana melko homogeenisia. Myöhempi metamorfoosi, todennäköisesti svekofennisen orogeenian yhteydessä, on muuttanut pyrokseenit ja oliviinin amfiboleiksi ja muiksi matalamman metamorfoosiasteen mineraaleiksi, esim. kloriitiksi.

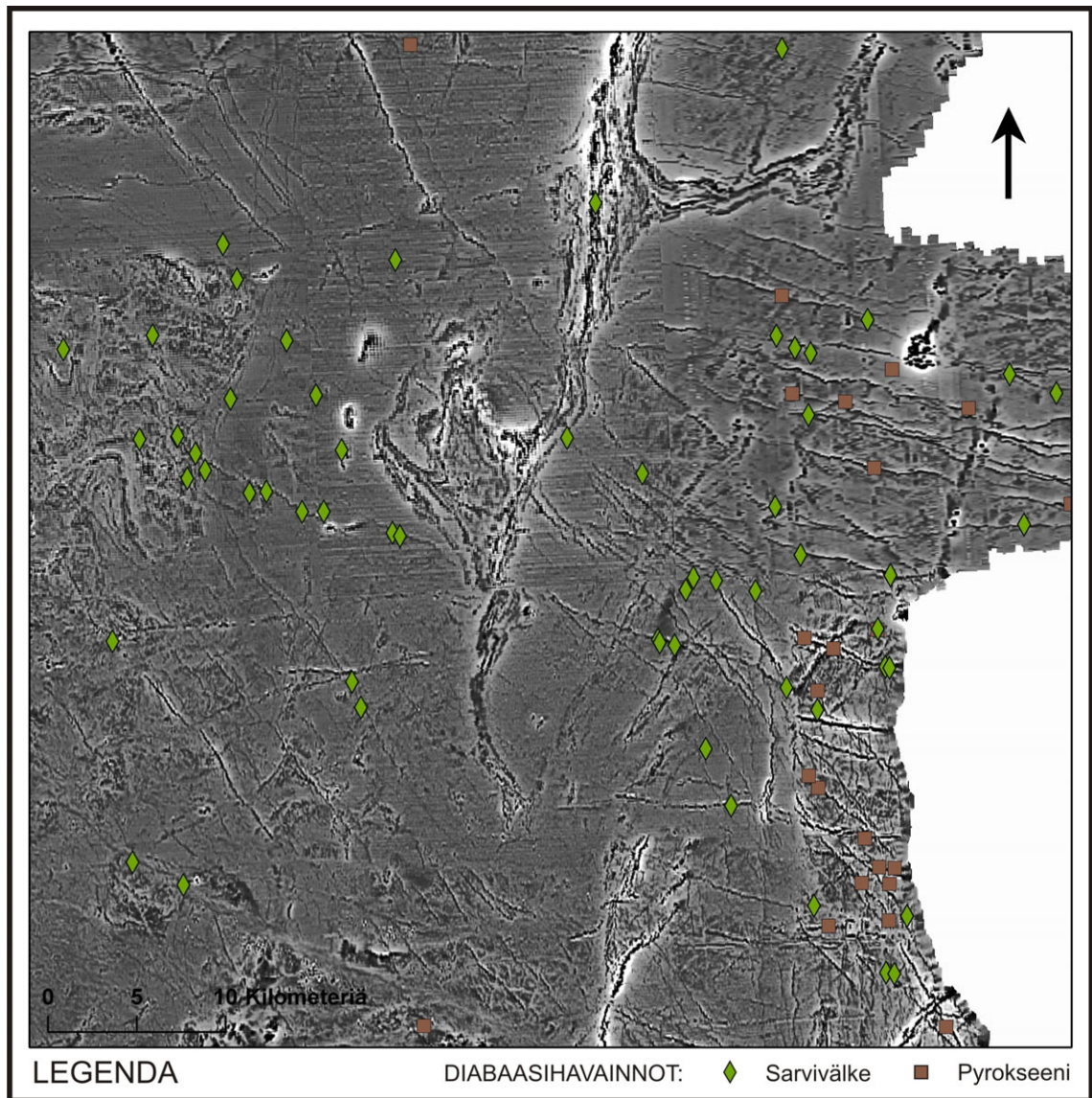
Kesällä 2006 löytynyt paljastuma SOMA-2006-259 osoitti Lohisärkän juoniparven jatkuvan myös Toravaaran anomalian puolelle. Havainnon perusteella on mahdollista todeta Toravaaran länsipuolisen siirroksen olevan luonteeltaan vasenkätinen ja kokonaissiirtymän juoniparven intruusion jälkeen olleen muutaman kilometrin luokkaa. Juonen kulku Toravaaran alueella on epävarma, mutta sen voidaan olettaa olevan samankaltainen kuin alueen ulkopuolella, sillä alueen muiden diabaasijuoniparvien yleissuunta ei muutu alueen sisä- ja ulkopuolella. Lohisärkän juoniparven arvioitu kulku on esitetty Kuvassa 20.

Ahjolan alueen diabaaseissa ei havaittu samankaltaista selkeää eroa kuin Toravaaran alueella. Osa tästä johtui varmasti alueen vielä huonommasta paljastuneisuudesta, mutta löydetty diabaasit kuuluivat silti kaikki sarvivälkediabaaseihin. Ahjolan alueen ero ei siten ole syntynyt samalla tavalla kuin Toravaaran. Sen pohjoispuolen raja on jatke Auhon siirrokselle (Mikkola 2007), joten se saattaa olla syntynyt eri tapahtumassa kuin Toravaaran anomalia. Sen alueella diabaasit ovat myös kääntyneet huomattavasti myötäpäivään, joten ylityöntö ja alueen rotaatio siirroksen myötä selittäisivät ainakin osan alueen erosta ympäristöönsä.



Kuva 20. Lohisärkän juoniparven paljastumia ja niiden avulla ekstrapoloitu juoniparven kulku. Kulku Toravaaran anomalian alueella päätelty paljastuman SOMA-2006-259 sekä juoniparven ja muiden diabaasijuonien kulun mukaan. Pohjakartta GTK/matalalentoaineisto

Myös ohutietutkimusten perusteella diabaasit luokiteltiin kolmeen ryhmään: sarvivälkediabaaseihin, pyrokseenidiabaaseihin ja porfyyriseen Lohisärkän juoniparveen. Ryhmät sopivat hyvin yhteen kenttätutkimusten tulosten kanssa, ja molemmat sopivat hyvin Toravaaran anomalian erottamiseen ympäröivistä alueista. Sarvivälke- ja pyrokseenidiabaasien alueellinen jakautuminen ohutietutkimusten perusteella on esitetty kartalla Kuvassa 21.



Kuva 21. Pyrokseeni- ja sarvivälkediabaasien esiintyminen tutkimusalueella. Vinoneliöt ovat sarvivälkediabaaseja, neliöt pyrokseenidiabaaseja. Pohjakartta GTK/matalalentoaineisto.

Ohuthietutkimusten tulokset osoittavat selvästi pyrokseenidiabaasien olevan huomattavasti vähemmän hydrotermisesti muuttuneita kuin sarvivälkediabaasien. Sarvivälkediabaasit sisältävät runsaasti epidootia, kloriittia ja muita hydratoitumisen tuloksena syntyneitä mineraaleja, kun taas pyrokseenidiabaaseissa mineraalit ovat hyvin ehjiä ja terveitä. Samaten sarvivälkediabaasien mineraalit ovat useissa tapauksissa uudelleenkiteytyneet. Havainnot osoittavat metamorfoosin muokanneen sarvivälkediabaaseja, kun taas pyrokseenidiabaasit ovat säästyneet metamorfiselta uudelleenkiteytymiseltä. Metamorfoosi on ollut paine-lämpötilaolosuhteiltaan suhteellisen matala, ja hydratoitumisen määrästä voidaan päätellä liikkellä olleen

runsaasti fluideja.

Ohuthiehavainnot sopivat hyvin hypoteesiin vertikaalisesta lohkoliikunnosta. Hypoteesin mukaan syvemmällä ollessaan Toravaaran diabaasit ovat joutuneet vähemmän kosketuksiin fluidien, erityisesti veden, kanssa ja siten ne ovat välttäneet hydratoitumisen, joka taas olisi kauttaaltaan vaikuttanut muun alueen diabaaseihin. Myöhemmin tapahtunut lohkoliikunto on nostanut Toravaaran diabaasit ylös nykyiseen pintaleikkaukseensa. Suurempi etäisyys svekofennisen orogenian keskuksesta taas on aiheuttanut heikomman metamorfoosin, joka ei ole riittänyt muokkaamaan uudelleen pyrokseeneja toisin kuin muulla alueella.

On mahdollista, että vastaava ero saataisiin aikaan myös erilaisella fluidien kierrolla ja eriasteisella hydratoitumisella, ilman minkäänlaista lohkoliikuntoa. Hypoteesi on kuitenkin heikompi, sillä alueen muissa kivilajeissa ei ole riittävästi hydratoitumisen merkkejä tukemaan hypoteesia suuresta fluidien kierron erosta. Erittäin terävä raja viittaa jonkinasteiseen liikuntoon, eikä lateraalinen siirros ole riittävän suuri tekemään eroa alueitten välille. Onkin todennäköistä, että mineralogian erot ainakin Toravaaran alueen sisä- ja ulkopuolella johtuvat vertikaalisesta liikunnosta.

5.2 Kemiaalliset analyysit

Kuten Vuollon ja Huhman (2005) tutkimusten perusteella oli odotettavissa, diabaasit ovat kokonaisuudessaan pääosin homogeenisiä, tholeiittisia kiviä. Analyysien avulla ne kuitenkin pystytään ryhmittelemään eri juoniparviin, jotka Vuollo ja Huhma (2005) ovat kuvanneet. Valtaosa analysoiduista diabaaseista on rautatholeiitteja. Kaksi analysoiduista diabaaseista on koostumkseltaan komatiittisia basaltteja, ja yksi diabaaseista osui koostumuksensa perusteella matalan Ti:n tholeiittien ryhmään.

Valtaosa diabaaseista on koostumuksensa perusteella syntynyt mantereisen basaltin yhteydessä ja niiden hivenalkuainekoostumus on tyypillinen varhaisproterotsooisille diabaaseille. Ryhmään kuuluvat myös kaikki Lohisärkän juoniparven kivistä tehdyt

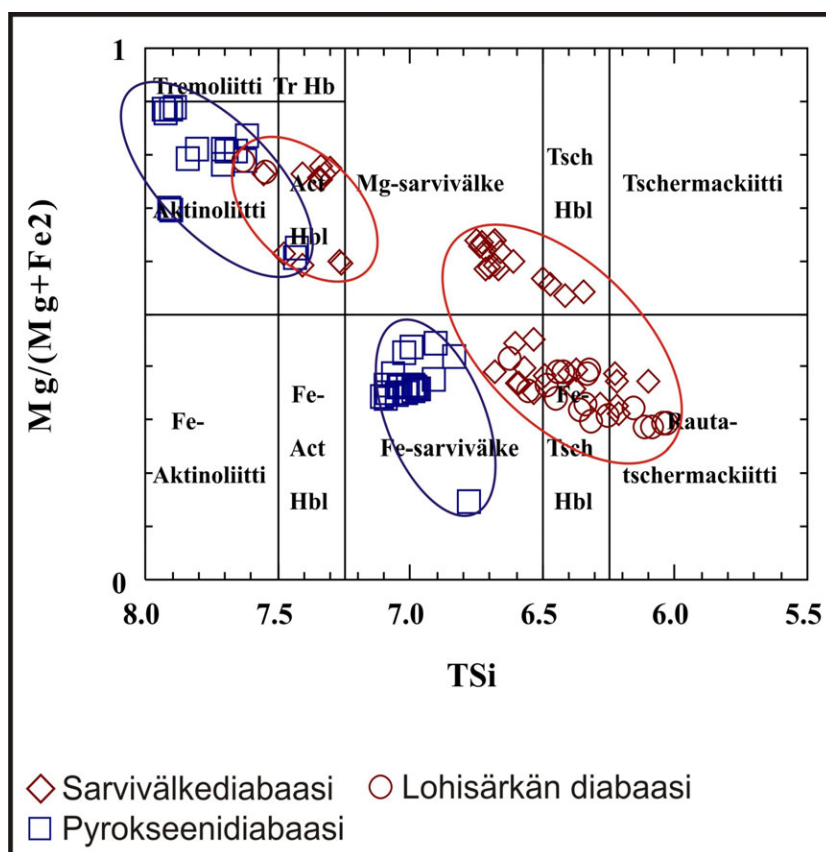
analyysit. Nämä ovat vielä muuta ryhmää homogeenisempia, ja pysyvät kaikissa analyyseista tehdyissä kuvaajissa tiukassa ryhmässä. Lohisärkän juoniparven voidaan siis todeta olevan selkeästi oma kokonaisuutensa, vaikka sitä ei voidakaan erottaa muista alueen diabaaseista kemiallisen analyysin perusteella.

Poikkeukset tholeiittisesta ryhmästä ovat kaikki korkean Mg:n diabaaseja, jotka eroavat muista diabaaseista kemiallisesti myös muutoin. Yksi näyte (BBT\$-2005-12) eroaa merkittävimmin hivenalkuaineiltaan, mutta myös pääalkuaineanalyysin perusteella se voidaan sijoittaa matalan Ti:n tholeiittien ryhmään (Vuollo ja Huhma 2005). Kaksi näytteistä (PIM\$-2006-8 ja KKK1-2006-170) taas kuuluvat boniniittien ja gabronoriittien ryhmään suhteellisen korkean magnesiumsisältönsä vuoksi. Tästä voidaan päätellä poikkeuksien kuuluvan vanhempien diabaasien joukkoon. Molemmat kivet ovat lisäksi voimakkaasti muuttuneita sarvivälkediabaaseja. Kyseisten juonien suunta ei kuitenkaan poikkea muista diabaaseista. Mikroanalyyseihin ei valittu mitään edellä mainittuja poikkeuksia tholeiittisesta ryhmästä.

Mineraalien vaihtelu on melko vähäistä alueella lukuun ottamatta amfiboleja. Pyrokseenien vaihtelussa ei ollut havaittavissa minkäänlaista trendiä. Plagioklaasit olivat samaten hyvin yhtenäisiä paria poikkeusta lukuun ottamatta. Ainoastaan amfiboleissa oli havaittavissa eroja pyrokseeni- ja sarvivälkediabaasien välillä. Lohisärkän analyysit olivat niin samankaltaisia sarvivälkediabaasien kanssa, että ne on hyvä lukea tässä samaan joukkoon.

Pyrokseenidiabaasien amfiboleissa oli vähemmän piitä kuin sarvivälkediabaasien, mutta toisaalta suhteessa enemmän rautaa kuin magnesiumia. Analyysit jakautuvat myös kahteen ryhmään niin sarvivälke- kuin pyrokseenidiabaasien osalta (Kuva 22). Valtaosa sarvivälkediabaasien amfiboleista on koostumukseltaan sarvivälkkeitä tai tschermackiittisiä, ja vastaavasti valtaosa pyrokseenidiabaasien amfiboleista Fe-sarvivälkkeitä. Kummassakin ryhmässä on kuitenkin joukko korkean Mg#:n ja matalan pi:n amfiboleja, jotka ovat koostumukseltaan aktinoliittisiä. Aktinoliittisissä ryhmissä amfibolien sisäisen koostumuksen hajonta on myös muita analyysejä suurempaa. Kaikki aktinoliittiset analyysit ovat suhteellisen voimakkaasti muuttuneista ja paikoin

suuntautuneista diabaaseista. Suuntausta esiintyy lähinnä hydratoituneissa diabaaseissa. Niinpä voidaan todeta aktinoliittisen amfibolin olevan diabaasin hydratoitumisen merkki.



Kuva 22. Amfibolien mikroanalyysien tulosten ryhmittely. Siniset ellipsit ovat pyrokseenidiabaasien ja punaiset sarvivälkediabaasien ryhmät. Ylemmät ryhmät ovat muuttuneista ja suuntautuneista diabaaseista, alemmat ovat eheämmistä diabaaseista.

5.3 Ikämääritys

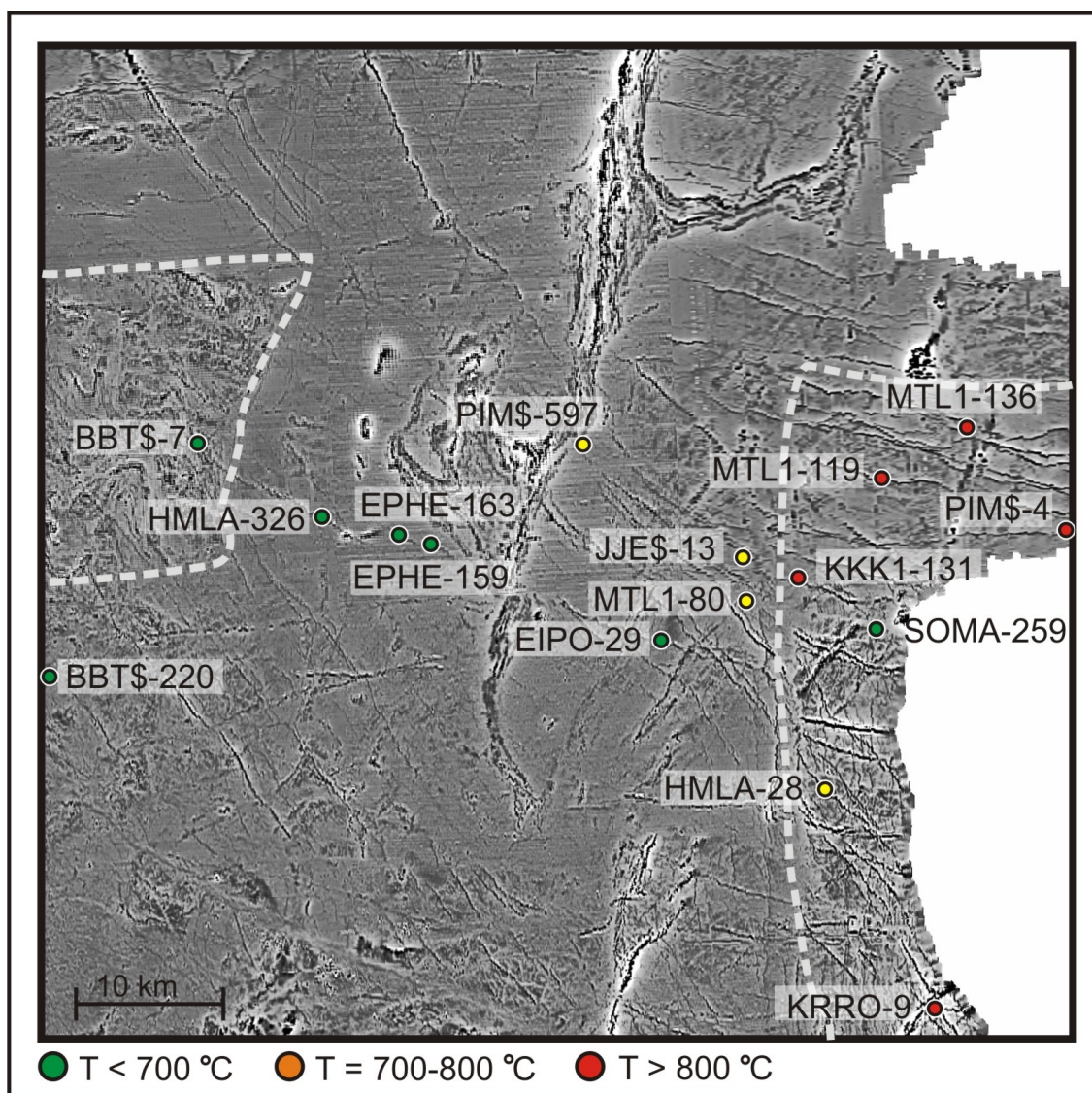
Yhdistettynä kenttähavaintojen kanssa ikämääritys vahvistaa havaitun maksimisiirtymän Toravaaran anomalian länsipuolen siirrokselle. Minimi-ikä 2,21 Ga on vanhempi kuin valtaosa diabaasijuonista, joten Lohisärkän juonen siirtymä on samalla kaikkien nuorempien juonien siirtymän maksimi.

Analysoitu näyte A1914 ei eroa selvästi Peräpohjan 2.22 Ga mafisten kerrosjuonien U-

Pb-analyyseista (mm. Perttunen ja Vaasjoki 2001), ja siten on mahdollista että Lohisärkän juoniparvi on niiden kanssa samanikäinen. Yhteyttä ei kuitenkaan voitu osoittaa, ja yhtä lailla parvi voi kuulua samaan ryhmään 2.3 Ga ikäisten mafisten intruusioiden kanssa.

5.4 Geotermobarometria

Amfibolitermometrin tulokset on esitetty kartalla Kuvassa 23.



Kuva 23. Hollandin ja Blundyn (1994) amfiboli-plagioklaasitermometrien tulokset kartalla. Korkeamman lämpötilan kivet ovat keskittyneet Toravaaran anomalian alueelle. Näytenumeroista poistettu vuosiluku selkeyden vuoksi. Koko tunnukset esim. Taulukossa 1 (s.42). Pohjakartta GTK matalalentoaineisto.

Tutkittavien diabaasien kohdalla termometrien tulokset ovat tutkimuskysymyksen kannalta mielenkiintoisimmat. Kiteytymislämpötilat jakautuvat selvästi kolmeen ryhmään: alle 700, 700-800 ja yli 800 °C:ssa kiteytyneet kivet. Kuten Kuvasta 23 voidaan havaita, korkeamman lämpötilan kivet keskittyvät itärajan tuntumaan Toravaaran anomalian alueelle tai sen reunamille. Korkeat lämpötilat ovat myös kaikki pyrokseenipitoisten diabaasien amfiboleista saatuja arvoja. Termometrin tulokset osoittavat nykyisen mineralogian tasapainottuneen vaihtelevissa lämpötiloissa.

Lämpötilojen alueelliselle jakautumiselle voidaan antaa useita selityksiä, esimerkiksi diabaasiryhmien kiteytyminen eri lämpötiloissa tai eriasteinen alueellinen metamorfoosi. Koska kuitenkin 600 astetta on diabaaseille liian matala kiteytymislämpötila, voidaan todeta ainakin matalimpien lämpötilojen olevan metamorfisia. Koska kaikki tai lähes kaikki amfiboli on alkuperältään metamorfista, voidaan todeta, että Toravaaran anomalian alueella on vallinnut korkeamman lämpötilan metamorfoosi kuin muualla tutkimusalueella. Kaikki diabaaseja nuoremmat alueelliset metamorfoosit ovat olleet joko lännen tai etelän puolella, tai riittävän kaukana, mikä viittaa alueen syvempään eroosiotasoon. Läheisyys alueellisen metamorfoosin keskukseen ei siten ole pätevä selitys erilaiselle kiteytymislämpötilalle.

Proterotsooinen svekofennisen orogeenian päällemerkintä on voimakkaampi alueen länsiosassa ja heikompi juuri itäosassa, jossa Toravaaran anomalia on (Kontinen et al. 1992). Niinpä on mahdollista, että alueen diabaasien erot johtuvat proterotsooisen päällemerkinnän eriasteisesta vaikutuksesta. Toisaalta on myös mahdollista, että svekofenniseen orogeeniaan liittyvä ylityöntö on aiheuttanut Toravaaran länsipuolisen alueen vajoamista kasvaneen kuoren paksuuden myötä, ja siten siirros olisi luonteeltaan vajoama. Tämä selittäisi osaltaan diabaasien eroosiotason eron.

5.4.1 Barometrien varmentaminen

Geryan (1997) amfibolibarometri osoittautui ongelmalliseksi menetelmäksi diabaasien tutkimuksessa. Saadut paineet olivat kauttaaltaan liian pieniä. Muutamassa matalan lämpötilan tapauksessa tulokset ovat suuruusluokaltaan noin 5 kbar, mikä voi olla

todellinen metamorfinen paine. Koska kuitenkin suurin osa paineista on hyvin pieniä tai jopa negatiivisia, voidaan todeta tämän menetelmän olevan käyttökelvoton tämän tutkimuksen puitteissa. Tutkimuksen perusteella on kuitenkin mahdollista arvioida menetelmän puutteita sekä sen käyttökelpoisuutta diabaasien tutkimuksessa yleensä.

Amfibolibarometri on riippuvainen kolmesta tekijästä: lämpötilasta, amfibolin alumiinipitoisuudesta sekä amfibolin Mg-luvusta. Koska lämpötilat ovat uskottavia, voidaan olettaa virheen johtuvan amfibolin koostumuksesta. Magnesiumluku ei vaikuta voimakkaasti tulokseen, jolloin matalien barometritulosten voidaan olettaa aiheutuvan matalasta alumiinipitoisuudesta. Kysymykseksi jääkin, ovatko amfibolit menettäneet alumiinia esimerkiksi fyllosilikaateille koko alueella, vai onko kyse menetelmän kalibroinnissa käytettyjen amfibolien koostumuksesta.

Tulosten perusteella käytetty amfibolibarometri ei sovellu tämän tutkimuksen näytteille. Koska amfibolit ovat kuitenkin koostumukseltaan vääränlaisia barometrille, sitä ei voida täysin hylätä diabaasitutkimuksen työkaluna. Tulevissa tutkimuksissa barometrin käyttö tulee rajata amfiboileihin, jossa on korkea Al ja joille on saatavissa luotettava geotermometritulos.

Klinopyrokseenibarometri, erityisesti Nimisin ja Ulmerin (1998) barometri tulokset ovat voimakkaasti yhteydessä magman arvioituun kiteytymislämpötilaan. Koska ainoat käytössä olleet termometrit olivat Hollandin ja Blundyn (1994) amfiboli-plagioklaasi-termometrit lämpötilan arvio amfiboileja sisältämättömissä diabaaseissa jäi oletuksen varaan. Lämpötilan arvioitiin amfiboileja sisältämättömissä diabaaseissa olevan vastaava kuin niissä pyrokseeneja sisältävissä diabaaseissa, joista saatiin termometritulos. Lisäksi amfibolien kiteytymislämpötila on väistämättä pyrokseeneja alhaisempi. Koska lämpötilan suhde paineeseen barometreissa on kääntäen verrannollinen, voidaan olettaa, että todelliset kiteytymispaineet ovat matalampia kuin klinopyrokseenibarometri tulokset antavat ymmärtää. Nimisin (1995) barometri taas aliarvioi painetta arviolta 1 kbar / 1 % vettä sulassa. Juonikivien sulat tuskin ovat vedettömiä, joten barometrin tulokset ovat liian matalia.

Geobarometrien tuloksissa on epätarkkuudesta huolimatta yksi merkittävä löytö. Nimisin ja Ulmerin (1998) vedellisten sulien barometrin tulokset osoittavat pyrokseenien kiteytyneen merkittävän erilaisissa paineissa eli eri syvyyksillä. Tämä tulos on luonnollinen, sillä juonikivissä osa mineraaleista on kiteytynyt magmasäiliössä ja osa magman virratessa säiliöstä ylöspäin.

Tulosten varmentamiseksi tarvittaisiin toinen, pyrokseeneillä tai muilla pyrokseenidiabaaseissa esiintyvillä mineraaleilla toimiva termometri. Yksi vaihtoehto olisi Kretzin (1982) kahden pyrokseenin termometri. Sen käyttö vaatisi kuitenkin lisää mikroanalyysijä kontaktissa esiintyvistä klinopyrokseeni-ortopyrokseenipareista, ja siten kyseisten parien etsimistä ohuthieistä. Tässä tutkimuksessa sellaisten käyttö ei ollut mahdollista, joten pyrokseenibarometrien kohdalla varsinaista tulkittavaa tulosta ei syntynyt. Saadut tulokset osoittavat kuitenkin reunaehdot käytettyjen geobarometrien soveltamiselle diabaasitutkimuksessa.

Jotta tulevissa tutkimuksissa välttyttäisiin eri syvyydellä kiteytyneiden pyrokseenien aiheuttamasta barometrituloksien vaihtelusta, olisi tutkittava varmasti oikealla syntysyvyydellä kiteytyneitä pyrokseeneja. Selvin vaihtoehto olisi analysoida juonien nopeasti jäähtyneiden reunaosien pienirakeisia pyrokseeneja. Tutkimusalueella tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä läheskään kaikissa paljastumissa ei ole löydettävissä juonen kontaktia. Kontakti löytyi vain neljästä paljastumasta koko kartoitusalueella. Toinen vaihtoehto olisi tutkia riittävän suuri populaatio pyrokseeneja ja analysoida vain pyrokseenien reunaosia, jotka ovat kiteytyneet lähinnä koko kiven kiteytymissyvyyttä. Saaduista tuloksista voitaisiin tilastollisin menetelmin määrittää todennäköinen kiteytymispaine.

Nimisin (1995) geobarometri edellyttää tutkittavalta kiveltä hyvin rajattua koostumusta. Koska diabaasien koostumus ei yleisesti ole aivan vaaditun mukainen, on menetelmän käyttö suotavaa ainoastaan niissä tapauksissa, joissa koostumus tunnetaan tarkasti ja se sopii geobarometrille.

Geobarometrien tuloksista havaitaan, että Nimisin ja Ulmerin (1998) basalttisten kivien

geobarometrit ovat käytetyistä geotermobarometreistä parhaiten soveltuvia diabaasien tutkimukselle. Niiden sallima magman koostumus on sopiva, ja ne on kalibroitu diabaasien syntyolosuhteita vastaaviin paine-lämpötila-olosuhteisiin. Niiden käyttö tulevissa tutkimuksissa on suotavaa, kunhan tutkittavien kivien syntylämpötila tunnetaan riittävällä varmuudella. Menetelmiä käytettäessä on kuitenkin muistettava niiden rajoitukset: vedettömien magmojen menetelmä on erittäin herkkä aliarvioimaan painetta, mikäli magmassa onkin ollut vettä, kun taas vedellisten magmojen menetelmä on suhteellisen herkkä lämpötilan vaihteluille.

Myös Nimisin (1999) menetelmä on mahdollisesti käytettävissä diabaaseille. Kyseinen geobarometri on tarkoitettu koostumukseltaan intermediäärisille kiville, joten käyttö on syytä rajata hyvin plagioklaasipitoisille diabaaseille. Niiden tapauksessa se kuitenkin voi olla varsin hyödyllinen.

Kaikkien edellä mainittujen klinopyrokseenibarometrien käyttö on helppoa Nimisin laatiman ohjelmiston avulla, ja ohjelma ajaa kaikki barometrit samalla kertaa. Koska tulokset ohjelmasta tulevat samaan taulukkoon, yllä mainitut rajoitukset on huomioitava tuloksia tulkittaessa, eikä tutkitulle kiville sopimattoman barometrin tuloksia tule käyttää.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kenttähavaintojen perusteella diabaasit ovat mineralogialtaan erilaisia Toravaaran anomalian alueen sisä- ja ulkopuolella. Tämä osoittaa niiden eroavan toisistaan kehityshistorialtaan. Lisäksi havainto Lohisärkän juoniparvesta Toravaaran anomalian sisäpuolella osoittaa selvästi anomalian länsipuolisen siirroksen olevan luonteeltaan vasenkätinen ja sen siirtymän olevan kokonaisuudessaan muutaman kilometrin luokkaa.

Petrografian ja kenttähavaintojen tulokset yhdessä osoittivat merkittävän eron diabaasien mineralogiassa. Tämä ero, voimakas metamorfoosi Toravaaran anomalian ulkopuolella muttei sisäpuolella, selittyy helpoimmin pystysuuntaisella lohkoliikunnolla.

Geokemian puolesta tutkittavat diabaasit kuuluvat suurimmaksi osaksi samaan tholeiittiseen ryhmään, lukuun ottamatta muutamaa poikkeusta. Nämä poikkeukset kuuluvat harvinaisempiin vanhempiin diabaasiparviin, ja ne pystytään luokittelemaan Vuollon ja Huhman (2005) esittämiin ryhmiin. Tutkimusalueen diabaasien voidaan analyysien perusteella olevan kemiallisesti riittävän homogeenisia termobarometrian toiminnalle. Niinpä perusoletus termobarometrian soveltuvuudesta lohkoliikuntojen tulkinnassa pätee tutkittaville kiville.

Ikämäärityksen tuloksena voidaan todeta, että Toravaaran siirtymä on ollut muutaman kilometrin luokkaa lateraalisesti Lohisärkän juoniparven synnyn jälkeen, mikä johtaa siihen, että kaikki 2.2 Ga nuoremmat juonet ovat siirtyneet korkeintaan saman matkan kuin Lohisärkän parvi. Samalla todettiin Lohisärkän parven olevan vallitsevia 1,98 Ga diabaaseja merkittävästi vanhempi.

Termobarometrian tulokset olivat puutteellisia, eikä kysymykseen lohkoliikunnon suunnasta tai mitasta saatu vastausta. Toravaaran alueen huomattavasti korkeampi lämpötila amfiboleissa osoittaa kuitenkin selvästi alueiden eron metamorfoosin osalta. Tämä tulos tukee oletusta merkittävästä pystysuuntaisesta liikunnosta.

Vastaukset asetettuihin tutkimuskysymyksiin siis ovat tiivistäen:

1) Mistä diabaasien mineralogiassa havaittavat erot johtuvat?

Diabaasien mineralogian erot Toravaaran alueella johtuvat pohjimmiltaan pystysuuntaisesta lohkoliikunnosta. Siirroksen itäpuolella metamorfinen lämpötila on ollut korkeampi, eivätkä pyrokseenit ole hydratoituneet amfiboleiksi.

2) Millaiset liikunnot ovat vaikuttaneet alueella esiintyvien magneettisten anomalioiden syntyyn?

Toravaaran anomalian länsipuolinen siirros on sivuttaissiirtymältään noin viiden kilometrin mittainen vasenkätinen siirros. Koska diabaasien erot siirroksen molemmiin puolin ovat merkittäviä, on kyseessä pääosin pystysuuntainen siirtymä. Tämä merkitsee sitä, että Toravaaran anomalia on noussut suhteessa ympäröivään alueeseen. Ahjolan diabaasien sunnan muutoksesta päätellen koko alue on kääntynyt myötäpäivään Auhon siirrokseen liittyvän ylityönnön myötä.

3) Voidaanko diabaasien geotermobarometrisellä tutkimuksella selvittää pystysuuntaisen siirroksen suuntaa ja siirtymää?

Kysymykseen ei saatu tyhjentävää vastausta. Erityisesti geotermometrisiä menetelmiä on syytä tutkia lisää ennen kuin ne voidaan hylätä pystysuuntaisten liikuntojen selvittämisessä. Oleelliset vaatimukset tämänkaltaiselle tutkimukselle tulevaisuudessa ovat:

a) On tehtävä riittävä määrä sopivia analyysijä, jotta tuloksista saadaan tilastollisesti käsiteltävä määrä dataa.

b) Analyysit on tehtävä juonien *chilled margin*-osista, jolloin mineraalien kiteytymispaine on mahdollisimman lähellä kiven varsinaista syntypainetta. Jos sopivia reunoja ei löydy, analysoidaan muut kiteet mahdollisimman läheltä kiteen reunaa.

c) On valittava magmaattisen lämpötilan tutkimiseen sopiva geotermometri.

Huonosti paljastuneilla alueilla, kuten Koillis-Kainuussa, tällaisen tutkimuksen toteuttaminen on käytännössä vaikeaa. Diabaasien geotermobarometrinen tutkimus olisi

sen sijaan erittäin mielenkiintoista toteuttaa alueella, jolla diabaasit ovat paremmin paljastuneita ja niistä löytyy useammin muuttumattomia *chilled margin* –kontakteja.

Tutkimus tuotti merkittävän lisäyksen tietoon arkeisen kuoren lohkoliikunnoista; Toravaaran anomalian länsipuolisen siirroksen vertikaalisen luonteen. Samalla saatiin vastaus diabaasien mineralogian eroihin alueen sisä- ja ulkopuolella. Ahjolan anomalia ei ole yhtä yksiselitteisesti kohonnut kuin Toravaara, mutta diabaasien kartoitus antoi senkin muodostumiselle vankan hypoteesin, eli rotaation Auhon siirroksen ylityönnön yhteydessä. Termometrien tulokset tukivat kenttä- ja ohuthiehavaintojen tuloksia. Geotermobarometrien osalta työ selvitti yllä mainitut reunaehdot menetelmien soveltamiselle diabaasien tutkimuksessa.

7 KIITOKSET

Tahdon kiittää ohjaajaani, geologi Perttu Mikkolaa, jonka apu työssä - ideoinnista loppusilauksiin - on ollut korvaamatonta. Professori Pentti Höltän ohjaus on niinikään ollut välttämätön työn valmiiksi saattamisessa. Kiitos työn aloituksesta kuuluu professori Tapani Rämölle, jota ilman en olisi ryhtynyt tähän työhön lainkaan. Lisäksi kiitän Bo Johanssonia ja Lassi Pakkasta mikroanalyysien ajosta, dosentti Hannu Huhmaa ikämäärityksestä sekä geofyysikko Jouni Lerssiä käytettyjen geofysikaalisten kuvien tuottamisesta. Kiitos myös Elina Sahlstedtille avusta hiekuvauksissa, sekä kaikkia kielitarkastukseen osallistuneita. Suurkiitos GTK/ISY:n Koillis-Kainuun kartoitusprojektin työntekijöille. Työ ei olisi ollut mahdollinen ilman heitä, sillä he löysivät kaikki tutkitut diabaasipaljastumat.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- Condie, K., 2005. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos* 79, ss. 491-504.
- Deer, W.A., Howie, R.A ja Zussmann, J., 1992. An Introduction to the Rock-Forming Minerals, 2nd edition. Longman Scientific & Technical, Essex. 696 s.
- Fahrig, W.F. 1987. The tectonic settings of continental mafic dyke swarms: Failed arm and passive margin. Teoksessa: Mafic Dyke Swarms. Geological Association of Canada Special Paper 34.331-348.
- Féraud, G., Giannérini, G ja Campredon, R., 1987. Dyke Swarms as Paleostress Indicators in Areas Adjacent to Continental Collision Zones: Examples from the European and Northwest Arabian Plates. Teoksessa: Mafic Dyke Swarms. Geological Association of Canada Special Paper 34.331-348.
- Halls, H. ja W.F. Fahrig (toim.): Mafic Dyke Swarms. Geological Association of Canada Special Paper 34. 503 s.
- Heilimo, E. 2006. Kaapinsalmen sanukitoidin ja sitä ympäröivien granitoidien petrologia ja geokemia. Julkaisematon pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, geologian laitos. 62 s.
- Heilimo, E., Mikkola, P. Halla, J. 2007. Age and petrology of the Kaapinsalmi sanukitoid intrusion in Suomussalmi, eastern Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 79, 117-125.
- Holland, T. ja J. Blundy 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry *Contributions to Mineralogy and Petrology* vol 116, 433-447
- Irvine T.N. ja Baragar W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 523-548
- Janhila, M. 2001. Fennoskandian kilven itäosan emäksisten juoniparvien mineralogia. Pro gradu-tutkielma, Oulun yliopisto, geotieteiden laitos, geologian osasto. 124s.
- Janousek, V., Farrow, C. M. ja Erban, V. 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology* 47(6):1255-1259
- Jensen, L.S. 1976 A New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks. Ontario Division of Mines, Toronto, Canada, Miscellaneous Paper 66, 22s.
- Kilpelä, M. 1991. Itä-Kainuun varhaisproterotsooiset diabaasit. Pro gradu-tutkielma, Turun yliopisto, geologian ja mineralogian laitos. 109s.

- Kohonen, J ja Rämö, O.T. (2005) Sedimentary rocks, diabases and late cratonic evolution. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. ja Rämö, O.T. (toim.). Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian shield. Developments in Precambrian Geology, Volume 14, Elsevier, Amsterdam, 563-593.
- Kontinen, Asko; Paavola, Jorma; Lukkarinen, Heikki 1992. K-Ar ages of hornblende and biotite from Late Archaean rocks of eastern Finland - interpretation and discussion of tectonic implications. Geological Survey of Finland. Bulletin 365. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.
- Kontinen, A. & Paavola, J. 2006. A preliminary model of the crustal structure of the eastern Finland Archaean complex between Vartiuss and Vieremä, based on constraints from surface geology and FIRE 1 seismic survey. Julkaisussa: Kukkonen, I. T. & Lahtinen, R. (toim.) Finnish Reflection Experiment FIRE 2001-2005. Geological Survey of Finland, Special Paper 43, 223-240
- Krogh, T. 1973. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37, 485-494.
- Krogh, T.E., 1982. Improved accuracy of U-Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using an air abrasion technique. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46, 637-649.
- Käpyaho, A., Mänttari, I. & Huhma, H. 2006. Growth of Archaean crust in the Kuhmo district, eastern Finland: U-Pb and Sm-Nd isotope constraints on plutonic rocks. *Precambrian Research* 146 (3-4), 95-119.
- Lahtinen, R., Korja A. ja Nironen M. 2005. Paleoproterozoic tectonic evolution. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. ja Rämö, O.T. (toim.). Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian shield. Developments in Precambrian Geology, Volume 14, Elsevier, Amsterdam, 481-532.
- Ludwig, K.R., 1991. PbDat 1.21 for MS-dos: A computer program for IBM-PC Compatibles for processing raw Pb-U-Th isotope data. Version 1.07. U.S. Geological Survey. Open File Report, 88-542, 35 p.
- Ludwig, K.R., 2003. Isoplot/Ex 3. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 4.
- Luukkonen, E. 1988. Moisiovaaran ja Ala-Vuokin kartta-alueiden kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Moisiovaara and Ala-Vuokki map-sheet areas. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkarttojen selitykset, lehdet 4421 ja 4423+4441. Geologian tutkimuskeskus. 90 s.

- Luukkonen, E., Halkoaho, T., Hartikainen, A., Heino, T., Niskanen, M., Pietikäinen, K. ja Tenhola, M. 2002. Itä-Suomen arkeiset alueet –hankkeen (12201 ja 2105000) toiminta vuosina 1992-2001 Suomussalmen Hyrynsalmen, Kuhmon, Nurmeksen, Rautavaaran, Valtimon, Lieksan, Ilomantisin, Kiihtelysvaaran, Enon, Kontiolahden, Tohmajärven ja Tuupovaaran alueella. Geologian tutkimuskeskus, raportti M19/4513/2002/1, 265 s., 5 liitettä.
<http://arkisto.gtk.fi/m19/4513/m19_4513_2002_1.pdf>
- Matisto, A. 1954. Suomussalmi. Suomen geologinen yleiskartta, kivilajikartta, lehti D5. Geologinen tutkimuslaitos, mittakaava 1:400 000.
- Matisto, A. 1958. Suomussalmi. Suomen geologinen yleiskartta, kivilajikartan selitys, lehti D5. Geologinen tutkimuslaitos, 115 s.
- Mikkola, P., 2007 Suomussalmen arkeisesta kallioperästä ja Kianta terraanin pohjoisosista yleensä. Abstrakti. Geologian tutkijapäivät, Helsinki 2007.
- Mikkola, P., 2008. Koillis-Kainuun kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of Northeast Kainuu. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 175. Espoo: Geologian tutkimuskeskus. 53 s. + 5 l. Sähköinen julkaisu.
- Papike, J.J, Cameron, K. ja Baldwin K. 1974. Amphiboles and pyroxenes; characterization of other than quadrilateral components and estimates of ferric iron from microprobe data (abstrakti). Geological Society of America Abstract Program 6. 1053-1054
- Papunen, H, Halkoaho, T. ja Luukkonen, E. 2009. Archaean evolution of the Tipasjärvi-Kuhmo-Suomussalmi Greenstone Complex, Finland. Geological Survey of Finland bulletin 403. 68s.
- Pearce, T.H. Gorman, B.E. and Birkett, T.C. 1977. The Relationship between Major Element Chemistry and Tectonic Environment of Basic and Intermediate Volcanic Rocks. Earth and Planetary Science Letters, Volume 36, p. 121-132.
- Perttunen, V. ja Vaasjoki, M. 2001. U-Pb geochronology of the Peräpohja Schist Belt, northwestern Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 33, 45-84.
- Pichler, H. ja Schmitt-Riegraf, C. (käännös Hoke, L.) 1997. Rock-forming Minerals in thin Section Chapman and hall, Lontoo. 214 s.
- Rasilainen, K., Lahtinen, R., & Bornhorst, T. J. 2007. The Rock Geochemical Database of Finland Manual. Tutkimusraportti - Report of Investigation, 164. 40 s.
<<http://arkisto.gsf.fi/tr/tr164/tr164.pdf>>
- Richard L.R., 1995. MinPet: Mineralogical and petrological data processing system, version 2.02. MinPet Geological Software, Québec, Canada.

- Rämö, O.T. ja Haapala, I. Rapakivi granites. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. ja Rämö, O.T. (toim.). Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian shield. Developments in Precambrian Geology, Volume 14, Elsevier, Amsterdam, 533-557.
- Salmi, H. 1986. Hyrynsalmen alueen varhaisproterotsooiset mafiset ja ultramafiset juonet ja intruusiot. Pro gradu-tutkielma, Oulun yliopisto, geologian laitos. 87s.
- Schumacher, J.C., 1997. Appendix 2. The estimation of the proportion of ferric iron in the electron-microprobe analysis of amphiboles. Canadian Mineralogist 35 1, ss. 238–246.
- Schwartz, E.J., P.J. Hood ja D.J. Teskey. 1987. Magnetic Expression of Canadian Diabase Dykes and Downward Modelling. Teoksessa: Mafic Dyke Swarms. Geological Association of Canada Special Paper 34. 153-162.
- Sorjonen-Ward P. ja Luukkonen E.J. 2005 Archean rocks. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. ja Rämö, O.T. (toim.). Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian shield. Developments in Precambrian Geology, Volume 14, Elsevier, Amsterdam, 19-100.
- Spear, F.S. 1993. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. BookCrafters Chelsea, 799s.
- Stacey, J.S. ja Kramers, J.D., 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. Earth and Planetary Science Letters 26, 207-221.
- Thompson, R.N., 1982 Magmatism of the British Tertiary Volcanic Province. Scottish Journal of Geology 18, 50-107
- Tröger, W.E., 1982. Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, Teil 1 Bestimmungstabellen. 5. neubearbeitete Auflage von Bambauer, H.U., Taborszky, F., trochin, H.D. E. Schweizerbart'sche verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 188 s.
- Vaasjoki, M., Korsman, K. ja Koistinen, T., 2005. Overview Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. ja Rämö, O.T. (toim.). Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian shield. Developments in Precambrian Geology, Volume 14, Elsevier, Amsterdam, 1-19.
- Vuollo J ja Huhma H. 2005. Paleoproterozoic mafic dikes in NE Finland. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. ja Rämö, O.T. (toim.). Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian shield. Developments in Precambrian Geology, Volume 14, Elsevier, Amsterdam, 195-236.
- Wilson, A.H. ja Versfeld, J.A., 1994. The Early Archaean Nondweni greenstone belt, southern Kaapvaal Craton, South Africa, Part II. Characteristics of the volcanic rocks and constraints on magma genesis. Precambrian Research 94, 7685-7792.

Wood, D.A., Joron, J-L., Treuil, M., Norry, M.J. and Tarney, J., 1979. Elemental and Sr Isotope Variations in Basic Lavas from Iceland and the Surrounding Ocean Floor: the Nature of Mantle Source Inhomogeneities. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol 70, ss. 319-339.

LIITE 1 – KOKOKIVIANALYYSIT

Tilaajan näytetunnus	Na2O %	MgO %	Al2O3 %	SiO2 %	P2O5 %	K2O %	CaO %	TiO2 %	MnO %	Fe2O3 %	S %	Cl %	Cr %	Ni %	Cu %	Zn %	Ga %	As %	Sr ppm
BBT\$-2005-12.1	1,64	7,99	14,0	51,2	0,043	0,236	11,1	0,621	0,184	10,7	0,060	0,052	0,0321	0,0116	0,0072	0,0100	0,0021	<0.003	104
BBT\$-2005-221.1	2,80	7,12	14,8	47,5	0,123	0,975	9,79	1,45	0,223	11,9	0,020	0,022	0,0247	0,0060	0,0032	0,0126	<0.002	<0.003	293
BBT\$-2005-66.2	1,94	6,51	13,3	49,7	0,092	0,504	10,4	1,08	0,213	14,1	0,081	0,088	0,0091	0,0060	0,0165	0,0125	0,0023	<0.003	153
BBT\$-2005-7.1	2,24	5,76	15,0	49,4	0,084	0,460	10,8	1,02	0,185	12,6	0,017	0,125	0,0056	0,0071	0,0112	0,0098	0,0021	<0.003	196
BBT\$-2006-123.1	2,44	3,53	11,7	49,8	0,325	1,21	7,29	2,54	0,233	19,0	0,075	0,277	0,0044	0,0043	0,0225	0,0196	0,0029	<0.003	161
BBT\$-2006-60.1	2,47	5,00	12,7	49,7	0,186	0,715	8,97	1,76	0,225	16,2	0,031	0,181	0,0080	0,0054	0,0172	0,0172	0,0023	<0.003	171
EIPO-2004-19.1	2,33	5,43	14,5	49,6	0,100	0,478	10,1	1,15	0,203	14,0	0,065	0,147	0,0048	0,0059	0,0158	0,0125	<0.002	<0.003	164
EIPO-2004-29.1	2,53	5,54	14,5	49,2	0,090	0,544	9,98	1,08	0,192	13,8	0,020	0,126	0,0058	0,0049	0,0122	0,0128	0,0032	<0.003	161
EPHE-2004-159.1	2,14	4,97	14,3	49,1	0,093	0,720	9,90	1,20	0,206	14,6	0,092	0,096	0,0033	0,0051	0,0156	0,0119	0,0022	<0.003	168
EPHE-2006-137.1	2,30	5,21	12,3	49,9	0,256	0,467	8,98	2,44	0,130	14,4	0,009	0,030	<0.003	0,0043	0,0134	0,0054	0,0020	<0.003	291
EPHE-2006-160.1	1,77	4,92	12,0	48,2	0,153	0,914	9,05	1,84	0,253	18,0	0,036	0,141	0,0098	0,0059	0,0212	0,0145	0,0043	<0.003	127
EPHE-2006-66.1	1,14	4,64	12,7	50,5	0,213	0,240	13,1	1,99	0,117	12,5	<0.006	0,059	<0.003	0,0038	0,0035	0,0052	0,0021	<0.003	855
HMLA-2004-326.1	2,41	5,79	14,3	49,6	0,089	0,393	10,6	1,06	0,177	12,7	0,057	0,100	0,0071	0,0063	0,0101	0,0084	<0.002	<0.003	178
JJE\$-2005-54.1	2,98	5,99	14,3	55,0	0,097	0,890	7,84	0,574	0,167	9,57	<0.006	0,013	0,0045	0,0075	0,0027	0,0090	0,0021	<0.003	358
KKK1-2006-170.1	1,56	12,9	10,5	51,2	0,098	0,468	7,12	0,583	0,158	10,5	<0.006	0,014	0,1334	0,0355	<0.002	0,0076	<0.002	<0.003	172
PIM\$-2006-108.1	2,56	6,22	14,9	49,4	0,144	0,363	10,2	1,64	0,206	14,0	0,020	0,061	0,0230	0,0111	0,0316	0,0118	0,0027	<0.003	136
PIM\$-2006-4.1	2,73	5,31	13,9	49,2	0,169	0,614	9,38	1,76	0,214	16,2	0,071	0,134	0,0100	0,0088	0,0242	0,0157	0,0023	<0.003	194
PIM\$-2006-8.1	3,51	10,1	11,9	45,4	0,135	3,73	6,14	1,14	0,159	8,35	<0.006	0,008	0,0471	0,0269	<0.002	0,0046	<0.002	<0.003	179
SOMA-2006-259.1	2,41	4,83	16,0	49,7	0,104	0,548	10,3	0,958	0,179	12,5	0,078	0,106	0,0047	0,0056	0,0110	0,0069	0,0023	<0.003	214

Tilaajan näytetunnus	Mo %	Sn %	Sb %	Ba ppm	Pb %	Bi %	Ce mg/kg	Co mg/kg	Dy mg/kg	Er mg/kg	Eu mg/kg	Gd mg/kg	Hf mg/kg	Ho mg/kg	La mg/kg	Lu mg/kg	Nb mg/kg
BBT\$-2005-12.1	<0.001	<0.002	<0.01	90	<0.003	<0.003	5,12	43,6	2,49	1,80	0,53	2,25	0,77	0,60	2,03	0,27	1,21
BBT\$-2005-221.1	<0.001	<0.002	<0.01	251	<0.003	<0.003	22,7	38,2	3,86	2,27	1,17	4,06	1,79	0,84	10,0	0,30	7,28
BBT\$-2005-66.2	<0.001	<0.002	<0.01	145	<0.003	<0.003	17,9	50,6	3,92	2,47	0,94	3,88	1,53	0,91	7,71	0,39	5,57
BBT\$-2005-7.1	<0.001	<0.002	<0.01	162	<0.003	<0.003	16,1	42,2	3,68	2,35	0,95	3,74	1,64	0,78	7,03	0,32	5,29
BBT\$-2006-123.1	<0.001	<0.002	<0.01	359	<0.003	<0.003	61,9	44,2	8,81	5,33	2,12	9,67	5,86	1,94	27,7	0,75	14,1
BBT\$-2006-60.1	<0.001	<0.002	<0.01	226	<0.003	<0.003	35,1	46,4	6,30	3,85	1,54	6,45	3,62	1,39	15,4	0,53	8,54
EIPO-2004-19.1	<0.001	<0.002	<0.01	136	<0.003	<0.003	21,5	48,1	4,36	2,69	1,12	4,33	2,04	1,01	9,67	0,40	5,95
EIPO-2004-29.1	<0.001	<0.002	<0.01	179	<0.003	<0.003	18,1	46,9	3,89	2,46	0,99	3,67	2,02	0,85	7,89	0,35	4,93
EPHE-2004-159.1	<0.001	<0.002	<0.01	168	<0.003	<0.003	19,2	45,7	4,07	2,60	0,96	3,73	1,85	0,90	8,72	0,36	5,77
EPHE-2006-137.1	<0.001	<0.002	<0.01	144	<0.003	<0.003	44,6	36,3	7,33	4,29	1,49	7,89	4,39	1,48	20,6	0,61	10,7
EPHE-2006-160.1	<0.001	<0.002	<0.01	207	<0.003	<0.003	28,8	49,7	5,91	3,45	1,42	6,08	2,91	1,25	12,6	0,47	7,76
EPHE-2006-66.1	<0.001	<0.002	<0.01	27	<0.003	<0.003	46,7	31,2	6,6	4,08	1,67	7,21	4,17	1,48	23,3	0,54	8,92
HMLA-2004-326.1	<0.001	<0.002	<0.01	116	<0.003	<0.003	19,8	48,0	3,97	2,58	0,93	4,35	2,05	0,91	8,41	0,38	5,78
JJE\$-2005-54.1	<0.001	<0.002	<0.01	363	<0.003	<0.003	31,5	40,8	2,36	1,31	0,73	3,25	1,62	0,52	15,5	0,21	2,99
KKK1-2006-170.1	<0.001	<0.002	<0.01	183	<0.003	<0.003	20,1	52,5	1,95	1,25	0,54	2,30	1,09	0,47	9,54	0,15	2,18
PIM\$-2006-108.1	<0.001	<0.002	<0.01	105	<0.003	<0.003	21,1	47,1	5,36	3,48	1,27	5,90	3,03	1,23	8,56	0,43	5,11
PIM\$-2006-4.1	<0.001	<0.002	<0.01	234	<0.003	<0.003	28,9	53,2	5,60	3,18	1,42	5,53	3,19	1,13	12,6	0,41	6,43
PIM\$-2006-8.1	<0.001	<0.002	<0.01	528	<0.003	<0.003	42,5	39,2	3,11	1,71	1,05	4,03	1,99	0,59	20,4	0,19	4,61
SOMA-2006-259.1	<0.001	<0.002	<0.01	157	<0.003	<0.003	21,9	42,2	4,16	2,74	0,97	4,14	1,89	0,95	9,76	0,35	5,79

Tilaajan	Nd	Pr	Rb	Sc	Sm	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	Y	Yb	Zr
<u>näytetunnus</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>	<u>mg/kg</u>
BBT\$-2005-12.1	4,17	0,83	8,17	46,4	1,48	<0.2	0,36	<0.5	0,24	<0.2	240	15,5	1,73	26,8
BBT\$-2005-221.1	13,6	3,03	41,1	40,5	3,38	0,50	0,67	1,46	0,34	<0.2	295	21,6	2,21	64,2
BBT\$-2005-66.2	11,6	2,38	17,7	44,8	2,98	0,35	0,68	1,37	0,39	<0.2	287	24,0	2,58	60,8
BBT\$-2005-7.1	10,5	2,18	16,2	40,2	2,63	0,31	0,57	1,16	0,35	<0.2	284	20,8	2,15	58,7
BBT\$-2006-123.1	35,2	7,95	39,2	33,4	8,46	0,87	1,57	5,35	0,77	0,73	298	50,3	5,07	223
BBT\$-2006-60.1	21,2	4,49	22,8	43,0	5,08	0,65	1,00	2,88	0,57	0,36	321	35,5	3,56	130
EIPO-2004-19.1	12,6	2,88	14,5	41,0	3,43	0,42	0,69	1,57	0,40	<0.2	274	25,1	2,79	75,5
EIPO-2004-29.1	11,6	2,44	20,6	40,6	2,94	0,32	0,64	1,30	0,34	<0.2	270	22,0	2,45	64,7
EPHE-2004-159.1	12,2	2,53	28,2	38,4	2,98	0,40	0,65	1,31	0,38	<0.2	281	23,1	2,46	64,9
EPHE-2006-137.1	25,8	5,95	15,0	40,3	6,19	0,74	1,20	5,13	0,59	0,52	394	39,1	4,07	157
EPHE-2006-160.1	18,0	3,91	33,5	40,0	5,07	0,56	0,99	2,15	0,48	0,21	322	32,4	3,23	107
EPHE-2006-66.1	26,2	5,97	6,20	38,5	6,08	0,55	1,16	4,34	0,56	0,47	308	38,2	3,87	146
HMLA-2004-326.1	12,4	2,68	10,0	44,4	2,78	0,37	0,66	1,34	0,38	<0.2	292	24,0	2,58	71,1
JJE\$-2005-54.1	15,0	3,76	29,8	33,1	2,68	<0.2	0,42	4,59	0,20	0,90	179	13,3	1,47	58,9
KKK1-2006-170.1	10,8	2,50	13,2	27,9	2,31	<0.2	0,35	1,47	0,16	<0.2	159	10,8	1,04	47,9
PIM\$-2006-108.1	15,3	3,02	12,3	41,1	4,52	0,39	0,93	1,41	0,50	0,24	282	30,9	3,25	97,5
PIM\$-2006-4.1	18,0	3,93	16,2	35,8	4,69	0,38	0,94	2,18	0,47	0,22	292	29,5	2,92	112
PIM\$-2006-8.1	21,3	5,25	176	24,9	3,93	0,24	0,57	4,47	0,18	1,30	177	15,3	1,39	75,4
SOMA-2006-259.1	12,9	2,94	16,0	35,5	3,25	0,32	0,67	1,62	0,39	<0.2	184	23,5	2,62	70,8

LIITE 2 – AMFIBOLIANALYYSIT

Näyte / analyysikohta	SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	V2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	SrO	BaO	P2O5	NiO	F	Cl	Total
BBT\$ 2005 7.1/2	38,32	0,32	14,85	0,00	0,34	22,50	0,26	4,65	11,43	1,32	0,93	-0,01	0,00	0,04	0,00	0,21	0,63	95,81
BBT\$ 2005 7.1/2	38,66	0,35	14,76	0,01	0,31	22,24	0,33	4,94	11,32	1,32	0,88	0,01	0,00	0,16	0,00	0,18	0,67	96,14
BBT\$ 2005 7.1/3	40,08	0,22	14,81	0,00	0,24	20,14	0,33	6,20	11,35	1,38	0,71	0,03	0,00	0,02	0,00	0,15	0,37	96,02
BBT\$ 2005 7.1/3	37,87	0,63	15,24	0,03	0,27	20,77	0,25	6,39	9,12	1,06	2,57	0,03	0,04	0,00	0,03	0,18	0,59	95,06
BBT\$ 2005 7.1/4	40,23	1,40	14,37	0,00	0,18	20,20	0,35	6,15	11,15	1,37	0,66	0,00	0,00	0,05	0,01	0,14	0,24	96,49
BBT\$ 2005 7.1/4	38,00	0,26	14,83	0,02	0,38	20,56	0,29	5,52	10,85	1,10	0,89	0,04	0,00	0,04	0,01	0,28	0,51	93,58
BBT\$ 2006 123.1SV/2	38,67	0,35	13,40	0,03	0,07	23,25	0,29	4,40	11,12	1,39	0,93	0,00	0,00	0,00	0,01	0,20	0,52	94,63
BBT\$ 2006 123.1SV/2	39,39	0,38	12,92	0,00	0,15	22,55	0,27	4,65	11,10	1,36	0,90	0,00	0,00	0,04	0,01	0,21	0,47	94,39
BBT\$ 2006 123.1SV/3	37,80	0,24	13,43	0,03	0,42	24,53	0,30	3,65	10,86	1,52	1,03	0,03	0,00	0,02	0,02	0,26	0,59	94,75
BBT\$ 2006 123.1SV/3	38,05	0,28	13,41	0,00	0,36	24,63	0,27	3,52	11,02	1,46	1,06	0,00	0,00	0,12	0,00	0,27	0,63	95,09
BBT\$ 2006 123.1SV/4	37,76	0,25	13,32	0,04	0,48	25,03	0,31	3,38	10,65	1,56	0,96	0,00	0,00	0,00	0,02	0,19	0,64	94,58
BBT\$ 2006 123.1SV/4	38,42	0,24	13,11	0,01	0,44	24,96	0,30	3,40	10,94	1,50	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,66	95,08
BBT\$-2005-15,1/2	38,10	0,11	17,08	0,00	0,02	22,00	0,26	4,56	11,25	1,58	1,13	0,01	0,00	0,00	0,02	0,14	0,46	96,73
BBT\$-2005-15,1/2	38,13	0,17	17,12	0,00	0,04	21,84	0,29	4,65	11,38	1,63	1,14	0,00	0,00	0,00	0,02	0,11	0,45	96,95
BBT\$-2005-15,1/3	39,55	0,23	15,14	0,00	0,01	22,03	0,25	5,39	11,51	1,63	0,90	0,03	0,00	0,00	0,03	0,18	0,34	97,21
BBT\$-2005-15,1/3	39,87	0,24	14,67	0,00	0,02	21,31	0,25	5,71	11,46	1,62	0,93	0,00	0,00	0,10	0,01	0,21	0,36	96,77
BBT\$-2005-15,1/4	41,39	0,28	12,93	0,00	0,08	21,10	0,30	6,55	11,40	1,54	0,68	0,00	0,00	0,00	0,02	0,18	0,28	96,72
BBT\$-2005-15,1/4	43,42	0,32	11,36	0,00	0,08	20,65	0,26	7,45	11,37	1,38	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,15	97,18
BBT\$-2005-220,1/1	43,13	0,33	13,56	0,01	0,03	15,73	0,39	9,57	11,44	1,46	0,33	0,00	0,00	0,09	0,01	0,11	0,05	96,23
BBT\$-2005-220,1/1	43,39	0,38	13,18	0,00	0,04	15,57	0,44	9,83	11,63	1,36	0,38	0,05	0,00	0,10	0,00	0,09	0,04	96,48
BBT\$-2005-220,1/2	42,75	0,26	14,44	0,00	0,00	15,73	0,42	9,12	11,65	1,46	0,40	0,04	0,00	0,00	0,01	0,13	0,04	96,45
BBT\$-2005-220,1/2	42,46	0,22	14,96	0,03	0,01	16,06	0,37	9,04	11,46	1,48	0,39	0,00	0,00	0,02	0,01	0,14	0,03	96,67
EIPO-2004 29.1SV/1	38,41	0,08	17,78	0,00	0,00	21,27	0,33	4,25	11,43	1,29	0,92	0,02	0,00	0,00	0,00	0,06	0,46	96,31
EIPO-2004 29.1SV/1	38,40	0,11	17,87	0,00	0,01	21,52	0,35	4,10	11,39	1,30	0,88	0,02	0,00	0,00	0,01	0,12	0,52	96,60
EIPO-2004 29.1SV/2	38,95	0,07	17,47	0,00	0,01	21,09	0,26	4,58	11,70	1,24	0,82	0,01	0,00	0,11	0,00	0,05	0,40	96,76
EIPO-2004 29.1SV/2	38,57	0,09	17,51	0,00	0,04	20,86	0,32	4,50	11,42	1,32	0,80	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,41	95,91
EIPO-2004 29.1SV/3	39,13	0,03	17,35	0,00	0,01	21,03	0,32	4,46	11,65	1,28	0,77	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,37	96,43
EIPO-2004 29.1SV/3	38,91	0,12	17,61	0,00	0,00	20,83	0,31	4,43	11,66	1,25	0,76	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15	0,38	96,41
EPHE-2004-159,1/2	42,76	0,08	14,54	0,01	0,02	20,21	0,37	6,07	11,39	1,20	0,49	0,00	0,00	0,00	0,01	0,15	0,16	97,47
EPHE-2004-159,1/2	40,72	0,02	16,53	0,00	0,02	20,61	0,34	4,86	11,50	1,25	0,64	0,04	0,00	0,11	0,00	0,10	0,23	96,97
EPHE-2004-159,1/3	41,55	0,12	15,29	0,00	0,03	20,96	0,38	5,21	11,49	1,25	0,60	0,01	0,00	0,21	0,00	0,17	0,18	97,45
EPHE-2004-159,1/3	39,71	0,00	17,39	0,01	0,04	21,04	0,35	4,44	11,57	1,32	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,20	96,92

Näyte / analyysikohta	SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	V2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	SrO	BaO	P2O5	NiO	F	Cl	Total
EPHE-2004-163,1/1	39,07	0,02	17,63	0,00	0,05	21,04	0,33	4,46	11,52	1,22	0,88	0,04	0,00	0,00	0,03	0,06	0,31	96,66
EPHE-2004-163,1/1	39,26	0,06	17,42	0,01	0,01	20,98	0,33	4,41	11,42	1,25	0,88	0,04	0,00	0,04	0,02	0,08	0,31	96,53
EPHE-2004-163,1/2	39,65	0,12	17,20	0,00	0,01	20,25	0,33	5,17	11,81	1,33	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,10	96,74
EPHE-2004-163,1/2	40,11	0,10	17,02	0,00	0,01	20,20	0,36	5,09	11,61	1,43	0,60	0,04	0,00	0,01	0,00	0,10	0,14	96,82
EPHE-2004-30,1PX/1	53,81	0,02	3,34	0,49	0,04	10,33	0,15	17,08	11,99	0,36	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03	0,06	0,01	97,77
EPHE-2004-30,1PX/1	54,69	0,09	2,87	0,41	0,04	9,94	0,18	17,56	11,92	0,27	0,03	0,03	0,00	0,00	0,05	0,10	0,02	98,21
EPHE-2004-30,1PX/2	54,68	0,03	2,34	0,52	0,04	9,72	0,21	17,86	12,21	0,19	0,01	0,04	0,00	0,03	0,05	0,08	0,00	98,02
EPHE-2004-30,1PX/2	54,50	0,11	2,56	0,52	0,02	9,95	0,18	17,32	12,46	0,25	0,00	0,05	0,00	0,01	0,04	0,08	0,06	98,10
EPHE-2004-30,1PX/3	55,51	0,06	1,78	0,49	0,00	9,17	0,18	17,83	12,49	0,20	0,01	0,07	0,00	0,00	0,08	0,12	0,03	98,01
EPHE-2004-30,1PX/3	55,34	0,00	1,79	0,51	0,01	9,07	0,15	18,14	12,32	0,15	0,01	0,06	0,00	0,05	0,08	0,15	0,03	97,84
EPHE-2004-30,1PX/4	54,14	0,05	2,84	0,53	0,06	9,19	0,15	18,22	12,34	0,26	0,02	0,02	0,00	0,08	0,04	0,03	0,01	97,96
EPHE-2004-30,1PX/4	54,22	0,10	2,96	0,49	0,07	9,63	0,13	17,62	12,02	0,35	0,00	0,06	0,00	0,00	0,04	0,14	0,00	97,82
EPHE-2006-160,1/1	41,00	0,18	15,27	0,03	0,00	21,46	0,33	4,89	11,51	1,34	0,74	0,00	0,00	0,00	0,01	0,12	0,15	97,02
EPHE-2006-160,1/1	43,11	0,16	13,39	0,05	0,03	20,90	0,42	6,07	11,56	1,13	0,54	0,00	0,00	0,13	0,03	0,10	0,15	97,76
EPHE-2006-160,1/2	42,17	0,22	14,14	0,00	0,04	20,94	0,38	5,70	11,60	1,22	0,59	0,00	0,00	0,10	0,00	0,19	0,19	97,49
EPHE-2006-160,1/2	41,24	0,18	14,89	0,00	0,04	21,10	0,35	5,43	11,45	1,32	0,74	0,03	0,00	0,00	0,04	0,09	0,19	97,09
HMLA-2004-28,2/r2/1	44,46	1,15	6,72	0,00	0,01	24,35	0,37	7,74	10,34	1,08	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,37	97,61
HMLA-2004-28,2/r2/1	45,85	1,04	5,86	0,01	0,03	24,12	0,40	8,19	10,16	0,96	0,65	0,00	0,00	0,04	0,04	0,18	0,24	97,78
HMLA-2004-28,2/r2/1	45,92	1,03	5,92	0,02	0,03	23,91	0,35	8,11	10,16	1,04	0,65	0,04	0,00	0,22	0,03	0,14	0,26	97,84
HMLA-2004-28,2/r2/2	45,01	0,93	6,32	0,00	0,00	23,43	0,28	8,53	10,34	1,39	0,84	0,03	0,00	0,00	0,00	0,15	0,39	97,66
HMLA-2004-28,2/r2/2	45,78	0,49	5,60	0,00	0,00	26,17	0,38	7,08	9,52	0,94	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,33	96,93
HMLA-2004-28,2/r2/2	45,34	0,55	5,65	0,00	0,04	26,95	0,47	6,67	9,77	0,97	0,56	0,01	0,00	0,00	0,03	0,18	0,33	97,53
HMLA-2004-326,1/1	42,11	0,34	13,42	0,02	0,15	20,35	0,33	6,61	11,39	1,38	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,24	96,88
HMLA-2004-326,1/1	41,69	0,27	13,40	0,00	0,18	20,25	0,29	6,58	11,56	1,36	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,23	96,44
HMLA-2004-326,1/2	40,92	0,30	13,92	0,01	0,14	20,28	0,28	6,43	11,53	1,38	0,67	0,05	0,00	0,00	0,01	0,08	0,28	96,27
HMLA-2004-326,1/2	41,16	0,33	14,05	0,00	0,16	20,33	0,31	6,49	11,50	1,31	0,64	0,00	0,00	0,00	0,02	0,15	0,26	96,72
JJES-2005-13,1/2	45,07	0,39	11,49	0,08	0,06	15,70	0,35	10,59	12,01	1,13	0,39	0,01	0,00	0,02	0,01	0,19	0,04	97,55
JJES-2005-13,1/2	45,05	0,38	11,33	0,09	0,12	15,27	0,31	11,13	11,87	1,11	0,43	0,00	0,00	0,00	0,02	0,09	0,07	97,27
JJES-2005-13,1/3	45,17	0,42	11,26	0,04	0,06	15,28	0,35	10,70	11,93	1,11	0,43	0,04	0,00	0,00	0,00	0,15	0,09	97,02
JJES-2005-13,1/3	45,02	0,35	11,38	0,02	0,05	15,30	0,33	10,71	11,85	1,15	0,45	0,03	0,00	0,06	0,01	0,15	0,05	96,90
JJES-2005-13,1/4	44,65	0,39	11,52	0,01	0,07	15,74	0,34	10,78	12,12	1,15	0,45	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15	0,08	97,46
JJES-2005-13,1/4	45,17	0,34	11,61	0,04	0,10	15,40	0,37	10,75	11,89	1,14	0,44	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,08	97,43

Näyte / analyysikohta	SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	V2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	SrO	BaO	P2O5	NiO	F	Cl	Total
KKK1-2003-131,1/r2/1	45,09	1,20	5,75	0,01	0,08	26,52	0,29	6,66	9,59	1,37	0,59	0,00	0,00	0,04	0,02	0,15	0,41	97,77
KKK1-2003-131,1/r2/1	44,79	1,24	5,77	0,01	0,03	26,32	0,26	6,75	9,51	1,38	0,60	0,05	0,00	0,00	0,01	0,20	0,35	97,26
KKK1-2003-131,1/r2/2	45,78	1,06	5,57	0,00	0,07	26,36	0,31	6,88	9,79	1,33	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,32	98,18
KKK1-2003-131,1/r2/2	44,87	1,19	5,49	0,00	0,03	26,59	0,32	6,76	9,65	1,36	0,56	0,03	0,00	0,10	0,03	0,14	0,35	97,49
KKK1-2003-212,1/r1/1	40,19	0,21	13,70	0,02	0,03	22,36	0,37	5,29	11,59	1,23	0,63	0,03	0,00	0,06	0,01	0,12	0,16	96,00
KKK1-2003-212,1/r1/1	41,69	0,22	13,11	0,00	0,06	22,39	0,36	5,91	11,74	1,09	0,54	0,01	0,00	0,00	0,02	0,13	0,15	97,42
KKK1-2003-212,1/r1/2	41,77	0,23	11,62	0,00	0,08	21,94	0,39	6,38	11,68	1,04	0,48	0,08	0,00	0,00	0,00	0,14	0,11	95,93
KKK1-2003-212,1/r1/2	40,46	0,25	14,45	0,00	0,06	22,58	0,37	5,25	11,86	1,26	0,61	0,06	0,00	0,00	0,00	0,09	0,15	97,44
KKK1-2003-212,1/r1/3	40,22	0,29	14,47	0,00	0,01	22,81	0,39	4,99	11,69	1,25	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,20	97,09
KKK1-2003-212,1/r1/3	42,59	0,20	10,98	0,02	0,02	22,12	0,38	6,73	11,70	1,02	0,45	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05	0,11	96,45
KKK1-2003-60,2/1	49,66	0,42	4,37	0,02	0,05	16,83	0,40	12,07	11,81	0,50	0,33	0,00	0,00	0,01	0,02	0,11	0,18	96,80
KKK1-2003-60,2/1	50,71	0,31	3,96	0,02	0,02	17,09	0,50	12,49	11,14	0,49	0,25	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,17	97,21
KKK1-2003-60,2/2	49,02	0,46	4,52	0,03	0,04	19,61	0,50	11,66	10,15	0,68	0,39	0,03	0,00	0,09	0,01	0,08	0,21	97,46
KKK1-2003-60,2/2	48,89	0,42	4,60	0,00	0,04	19,88	0,55	11,47	10,06	0,70	0,35	0,01	0,00	0,00	0,01	0,12	0,26	97,35
KKK1-2005-203,1/1	42,84	0,34	12,48	0,03	0,17	20,68	0,44	6,31	11,31	1,15	0,41	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	0,06	96,38
KKK1-2005-203,1/1	42,57	0,30	13,11	0,00	0,15	21,10	0,42	5,97	11,31	1,27	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,10	96,86
KKK1-2005-203,1/2	42,94	0,25	12,49	0,00	0,21	20,84	0,42	6,32	11,46	1,12	0,48	0,00	0,00	0,12	0,00	0,13	0,06	96,85
KKK1-2005-203,1/2	43,63	0,19	11,65	0,00	0,18	20,38	0,41	6,87	11,67	1,11	0,40	0,07	0,00	0,00	0,03	0,13	0,09	96,81
KRRO-2004-9,1/r1/1	41,25	0,87	7,74	0,02	0,04	28,26	0,40	4,23	10,02	1,56	1,31	0,02	0,00	0,00	0,00	0,28	0,74	96,72
KRRO-2004-9,1/r1/1	41,08	0,90	8,09	0,00	0,04	28,07	0,42	4,25	9,99	1,57	1,29	0,03	0,00	0,00	0,00	0,36	0,78	96,88
KRRO-2004-9,1/r1/2	40,47	1,20	8,17	0,02	0,01	28,11	0,46	3,95	10,02	1,72	1,39	0,02	0,00	0,02	0,00	0,29	0,75	96,60
KRRO-2004-9,1/r1/2	40,19	1,35	7,98	0,00	0,04	28,38	0,36	3,72	10,05	1,70	1,50	0,06	0,00	0,00	0,01	0,30	0,80	96,45
MTL1-2003-119,2/r1/1b	38,39	1,27	9,37	0,02	0,39	28,61	0,27	2,37	10,83	1,28	0,93	0,07	0,00	0,00	0,01	0,11	0,54	94,46
MTL1-2003-119,2/r1/1b	41,96	1,31	7,90	0,06	0,28	29,12	0,29	2,67	10,86	1,19	0,62	0,00	0,00	0,00	0,01	0,22	0,55	97,03
MTL1-2003-119,2/r2/1	45,31	0,95	5,51	0,02	0,06	26,95	0,41	6,43	9,16	1,20	0,58	0,01	0,00	0,02	0,00	0,17	0,27	97,03
MTL1-2003-119,2/r2/1	45,13	0,95	5,38	0,03	0,01	27,37	0,44	6,44	9,18	1,13	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,25	97,11
MTL1-2003-119,2/r2/2	45,60	0,91	5,20	0,00	0,01	27,47	0,43	6,74	9,12	1,18	0,57	0,00	0,00	0,13	0,02	0,18	0,31	97,87
MTL1-2003-119,2/r2/2	45,33	0,99	5,35	0,00	0,04	26,53	0,37	6,49	9,16	1,26	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,28	96,53
MTL1-2003-119,2/r2/2	45,96	0,94	5,03	0,01	0,05	27,17	0,43	6,80	8,96	1,13	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,26	97,48
MTL1-2003-136,1/r1/1	44,55	0,94	5,85	0,02	0,02	26,56	0,35	6,93	9,65	1,26	0,68	0,02	0,00	0,00	0,04	0,30	0,33	97,50
MTL1-2003-136,1/r1/1	44,71	0,91	5,87	0,01	0,01	25,80	0,38	6,82	9,57	1,36	0,73	0,02	0,00	0,00	0,02	0,26	0,34	96,81
MTL1-2003-136,1/r1/2	44,47	0,89	6,01	0,04	0,00	25,86	0,28	6,51	10,20	1,66	0,83	0,00	0,00	0,09	0,00	0,22	0,38	97,43
MTL1-2003-136,1/r1/2	44,72	0,98	5,89	0,00	0,00	25,29	0,30	6,95	10,17	1,36	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,36	97,05
MTL1-2003-80,1/2	40,19	0,39	13,08	0,02	0,30	22,16	0,34	6,14	11,41	1,59	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,53	97,09
MTL1-2003-80,1/2	41,96	0,28	11,57	0,00	0,44	21,29	0,33	7,05	11,42	1,46	0,67	0,02	0,00	0,11	0,03	0,06	0,47	97,16
MTL1-2003-80,1/3	41,39	0,30	12,51	0,00	0,17	21,33	0,31	6,81	11,40	1,52	0,70	0,01	0,00	0,01	0,01	0,20	0,45	97,15
MTL1-2003-80,1/3	41,19	0,33	12,21	0,01	0,17	21,79	0,35	6,91	11,55	1,51	0,71	0,04	0,00	0,00	0,01	0,08	0,46	97,31

Näyte / analyysikohta	SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	V2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	SrO	BaO	P2O5	NiO	F	Cl	Total
MTLI-2003-97,1/1	38,53	0,18	13,79	0,01	0,41	24,54	0,23	4,48	11,13	1,73	1,12	0,00	0,00	0,04	0,02	0,08	1,53	97,84
MTLI-2003-97,1/1	38,92	0,13	13,39	0,02	0,21	24,64	0,26	4,73	11,13	1,71	1,13	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	1,44	97,81
MTLI-2003-97,1/2	39,12	0,10	13,81	0,01	0,50	24,75	0,29	4,49	11,22	1,73	1,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,14	1,55	98,81
MTLI-2003-97,1/2	39,26	0,07	13,10	0,01	0,41	24,32	0,21	4,83	11,27	1,80	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	1,67	98,11
MTLI-2003-97,1/3	38,22	0,20	13,97	0,00	0,60	24,52	0,26	4,07	11,16	1,79	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	1,66	97,70
MTLI-2003-97,1/3	38,74	0,17	13,73	0,01	0,50	24,21	0,27	4,45	11,09	1,82	0,95	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	1,54	97,62
PIMS-2003-269,1/3	54,67	0,01	0,61	0,01	0,01	12,89	0,19	15,81	12,76	0,00	0,01	0,08	0,00	0,04	0,01	0,06	0,00	97,15
PIMS-2003-269,1/3	54,40	0,00	0,58	0,00	0,04	12,85	0,16	15,72	13,01	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,01	0,09	0,00	96,94
PIMS-2003-269,1/4	50,53	0,49	3,70	0,02	0,00	18,34	0,64	12,37	10,39	0,36	0,28	0,03	0,00	0,01	0,06	0,00	0,04	97,25
PIMS-2003-269,1/4	50,35	0,71	4,03	0,00	0,04	17,85	0,60	12,07	10,67	0,43	0,31	0,02	0,00	0,05	0,03	0,13	0,02	97,31
PIMS-2003-331,2/1	41,77	0,33	14,39	0,00	0,06	19,70	0,40	6,59	11,38	1,38	0,57	0,02	0,00	0,12	0,00	0,15	0,18	97,06
PIMS-2003-331,2/1	41,91	0,34	14,28	0,02	0,09	19,75	0,38	6,48	11,40	1,42	0,49	0,03	0,00	0,00	0,00	0,14	0,21	96,94
PIMS-2003-331,2/2	43,16	0,33	12,73	0,01	0,09	18,96	0,41	7,81	11,59	1,20	0,51	0,00	0,00	0,00	0,01	0,13	0,12	97,08
PIMS-2003-331,2/2	43,24	0,24	12,50	0,00	0,09	18,66	0,38	7,68	11,44	1,21	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,10	96,21
PIMS-2003-34,1/2	56,11	0,03	0,41	0,01	0,04	6,36	0,15	20,51	12,87	0,04	0,03	0,05	0,00	0,00	0,14	0,13	0,00	96,88
PIMS-2003-34,1/2	56,39	0,00	0,41	0,03	0,06	6,35	0,13	20,42	12,81	0,01	0,01	0,11	0,00	0,03	0,14	0,16	0,00	97,07
PIMS-2003-34,1/3	56,39	0,01	0,52	0,00	0,04	6,38	0,23	20,44	12,72	0,03	0,03	0,00	0,00	0,11	0,15	0,14	0,00	97,18
PIMS-2003-34,1/3	56,64	0,04	0,31	0,04	0,00	6,14	0,18	20,65	12,84	0,00	0,02	0,06	0,00	0,00	0,10	0,06	0,00	97,10
PIMS-2003-521,1/2	44,87	0,41	10,23	0,05	0,11	15,27	0,48	11,33	11,61	1,38	0,30	0,00	0,00	0,12	0,01	0,16	0,02	96,35
PIMS-2003-521,1/2	44,89	0,42	10,36	0,01	0,12	15,44	0,54	11,53	11,41	1,43	0,26	0,01	0,00	0,06	0,02	0,18	0,04	96,73
PIMS-2003-521,1/3	45,35	0,36	10,21	0,03	0,14	15,23	0,51	11,53	11,64	1,39	0,28	0,00	0,00	0,12	0,00	0,08	0,01	96,89
PIMS-2003-521,1/3	45,68	0,33	10,11	0,06	0,11	15,34	0,47	11,75	11,43	1,34	0,29	0,00	0,00	0,00	0,03	0,15	0,01	97,11
PIMS-2003-521,1/4	45,45	0,43	10,29	0,07	0,12	14,97	0,54	11,69	11,59	1,37	0,29	0,01	0,00	0,04	0,02	0,08	0,00	96,97
PIMS-2003-521,1/4	45,11	0,39	10,39	0,05	0,09	15,14	0,56	11,63	11,69	1,45	0,27	0,00	0,00	0,04	0,00	0,12	0,00	96,92
PIMS-2003-597,1/1	43,99	0,64	11,69	0,20	0,05	13,28	0,28	12,14	12,11	1,28	1,18	0,00	0,00	0,00	0,02	0,37	0,00	97,23
PIMS-2003-597,1/1	43,79	0,52	11,42	0,22	0,05	13,13	0,29	12,21	12,17	1,23	1,15	0,03	0,00	0,00	0,03	0,33	0,03	96,60
PIMS-2003-597,1/2	43,22	0,70	12,15	0,21	0,03	12,91	0,26	12,69	12,28	1,34	1,37	0,00	0,00	0,00	0,02	0,35	0,00	97,54
PIMS-2003-597,1/2	43,21	0,60	12,23	0,24	0,02	13,11	0,26	12,47	12,24	1,35	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,03	97,50
PIMS-2003-597,1/3	43,79	0,63	11,79	0,21	0,08	12,59	0,31	13,03	12,36	1,25	1,31	0,00	0,00	0,04	0,01	0,37	0,01	97,79
PIMS-2003-597,1/3	43,69	0,53	11,86	0,22	0,03	12,65	0,23	12,97	12,42	1,33	1,37	0,01	0,00	0,07	0,03	0,36	0,01	97,79
PIMS-2003-597,1/4	43,45	0,57	11,91	0,27	0,02	12,53	0,26	12,74	12,29	1,33	1,35	0,00	0,00	0,00	0,02	0,37	0,00	97,13
PIMS-2003-597,1/4	43,08	0,67	11,85	0,22	0,06	13,02	0,27	12,85	12,59	1,29	1,38	0,01	0,00	0,09	0,03	0,36	0,00	97,76
PIMS-2003-597,1/5	43,47	0,56	11,82	0,23	0,08	12,71	0,29	12,51	12,37	1,38	1,28	0,02	0,00	0,00	0,04	0,43	0,00	97,17
PIMS-2003-597,1/5	43,63	0,63	11,89	0,22	0,06	12,86	0,25	12,69	12,28	1,37	1,34	0,02	0,00	0,00	0,01	0,36	0,00	97,63

Näyte / analyysikohta	SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	V2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	SrO	BaO	P2O5	NiO	F	Cl	Total
PIM\$-2006-4,1/r2/1	45,91	1,17	5,15	0,01	0,02	26,93	0,41	6,42	9,84	0,94	0,45	0,03	0,00	0,01	0,00	0,20	0,12	97,61
PIM\$-2006-4,1/r2/1	46,10	1,14	5,13	0,00	0,03	26,72	0,36	6,53	10,08	0,98	0,46	0,00	0,00	0,13	0,04	0,14	0,13	97,96
PIM\$-2006-4,1/r2/2	43,87	1,79	6,37	0,04	0,03	26,14	0,30	6,40	10,09	1,65	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,39	98,19
PIM\$-2006-4,1/r2/2	43,90	1,73	6,59	0,01	0,04	25,67	0,29	6,31	10,07	1,69	0,89	0,00	0,00	0,37	0,02	0,13	0,38	98,09
SOMA-2006-259,1/1	40,35	0,11	15,27	0,00	0,00	21,35	0,32	5,55	11,53	1,39	0,77	0,00	0,00	0,00	0,01	0,13	0,34	97,12
SOMA-2006-259,1/1	40,19	0,16	14,96	0,00	0,00	21,03	0,32	5,79	11,62	1,41	0,74	0,04	0,00	0,00	0,03	0,19	0,29	96,78
SOMA-2006-259,1/2	39,16	0,09	17,14	0,00	0,00	20,80	0,32	4,95	11,46	1,45	0,79	0,04	0,00	0,00	0,02	0,20	0,29	96,70
SOMA-2006-259,1/2	39,23	0,12	17,18	0,00	0,00	20,98	0,28	4,95	11,50	1,46	0,78	0,03	0,00	0,00	0,00	0,10	0,25	96,85
SOMA-2006-289,1/1	53,26	0,51	2,22	0,03	0,01	12,77	0,27	16,64	10,57	0,32	0,12	0,02	0,00	0,00	0,09	0,16	0,11	97,08
SOMA-2006-289,1/1	52,25	0,76	2,60	0,03	0,04	12,78	0,40	16,14	10,98	0,33	0,20	0,00	0,00	0,10	0,06	0,11	0,07	96,86
SOMA-2006-289,1/1	52,56	0,84	2,59	0,01	0,06	13,00	0,38	16,14	10,91	0,38	0,18	0,06	0,00	0,13	0,04	0,11	0,07	97,46
SOMA-2006-289,1/2	50,39	0,98	3,54	0,03	0,05	14,76	0,43	15,18	10,16	0,60	0,34	0,02	0,00	0,00	0,08	0,16	0,15	96,87
SOMA-2006-289,1/2	50,30	1,01	3,50	0,00	0,04	14,87	0,43	15,26	10,07	0,56	0,30	0,00	0,00	0,00	0,06	0,07	0,15	96,62
SOMA-2006-289,1/2	50,39	0,99	3,56	0,04	0,06	14,62	0,46	15,18	10,12	0,57	0,32	0,01	0,00	0,05	0,03	0,12	0,15	96,66
SOMA-2006-289,1/3	50,09	0,94	3,78	0,05	0,04	14,08	0,49	15,47	10,20	0,64	0,32	0,06	0,00	0,00	0,05	0,11	0,11	96,43
SOMA-2006-289,1/3	50,55	0,88	3,71	0,08	0,08	13,95	0,51	15,54	10,13	0,53	0,29	0,00	0,00	0,01	0,05	0,15	0,09	96,55
SOMA-2006-289,1/3	50,95	1,02	3,35	0,07	0,08	13,10	0,38	15,75	10,81	0,49	0,25	0,04	0,00	0,00	0,07	0,14	0,12	96,62

LIITE 3 – PYROKSEENIANALYYSIT

Näyte / analyysikohta	SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	V2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	SrO	BaO	P2O5	NiO	F	Cl	Total
EPHE-2004-10,1/1	51,61	0,39	3,22	0,07	0,07	8,89	0,23	18,32	16,37	0,24	0,00	0,02	0,00	0,04	0,05	0,04	0,00	99,56
EPHE-2004-10,1/1	52,37	0,42	2,98	0,11	0,07	8,35	0,28	18,32	16,98	0,24	0,00	0,05	0,00	0,00	0,04	0,10	0,01	100,33
EPHE-2004-10,1/2	51,11	0,59	4,61	0,12	0,08	8,49	0,23	17,41	16,92	0,27	0,00	0,04	0,00	0,09	0,00	0,01	0,00	99,97
EPHE-2004-10,1/2	50,95	0,58	4,62	0,11	0,04	8,55	0,21	17,40	16,72	0,27	0,00	0,05	0,00	0,09	0,04	0,07	0,00	99,70
EPHE-2004-10,1/3	50,47	0,60	4,76	0,10	0,06	7,79	0,24	16,34	18,34	0,31	0,01	0,06	0,00	0,00	0,06	0,04	0,00	99,18
EPHE-2004-10,1/3	50,38	0,59	5,09	0,09	0,06	7,70	0,17	16,35	18,97	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,09	0,00	99,79
EPHE-2004-15,1/2	53,85	0,19	2,29	0,55	0,00	11,04	0,25	28,68	2,60	0,00	0,00	0,04	0,00	0,11	0,11	0,10	0,00	99,83
EPHE-2004-15,1/3	54,75	0,13	1,95	0,71	0,00	9,69	0,23	29,84	2,52	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,09	0,10	0,01	100,08
EPHE-2004-15,1/4	55,32	0,03	1,09	0,43	0,02	9,34	0,21	30,23	2,18	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,11	0,05	0,00	99,06
EPHE-2004-15,1/5	55,24	0,04	1,09	0,45	0,02	9,52	0,21	30,58	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,02	0,00	99,39
EPHE-2004-15,1/6	55,12	0,08	1,38	0,51	0,01	9,59	0,25	30,54	2,17	0,00	0,00	0,02	0,00	0,11	0,10	0,06	0,00	99,94
EPHE-2004-97,2/2	52,27	0,27	2,72	0,55	0,05	8,16	0,27	19,34	15,56	0,16	0,00	0,05	0,00	0,05	0,03	0,06	0,00	99,51
EPHE-2004-97,2/2	52,45	0,23	2,80	0,63	0,03	7,83	0,22	19,05	15,84	0,22	0,00	0,05	0,00	0,00	0,04	0,05	0,01	99,44
EPHE-2004-97,2/3	51,81	0,22	2,82	0,94	0,06	6,80	0,18	18,27	17,62	0,27	0,00	0,07	0,00	0,30	0,09	0,07	0,01	99,52
EPHE-2004-97,2/3	52,15	0,22	2,64	0,82	0,05	6,79	0,20	18,44	17,43	0,20	0,00	0,04	0,00	0,00	0,06	0,05	0,01	99,09
EPHE-2004-97,2/4	52,14	0,22	3,07	0,96	0,06	6,75	0,16	18,91	17,17	0,21	0,00	0,12	0,00	0,00	0,05	0,07	0,00	99,89
EPHE-2004-97,2/4	51,78	0,22	3,06	1,01	0,06	6,76	0,14	18,52	17,57	0,26	0,00	0,07	0,00	0,06	0,05	0,11	0,01	99,68
HMLA-2004-28,2/r1/1	50,02	0,87	3,77	0,49	0,09	9,19	0,23	15,55	19,08	0,24	0,00	0,05	0,00	0,00	0,03	0,11	0,00	99,73
HMLA-2004-28,2/r1/1	50,35	0,85	3,93	0,56	0,10	9,21	0,22	15,78	18,99	0,31	0,00	0,08	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	100,45
HMLA-2004-28,2/r1/2	49,73	1,03	3,87	0,05	0,06	12,33	0,25	15,50	16,25	0,32	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05	0,15	0,00	99,62
HMLA-2004-28,2/r1/2	49,90	0,89	3,81	0,07	0,10	12,42	0,24	15,71	16,47	0,38	0,00	0,06	0,00	0,02	0,02	0,14	0,00	100,22
KKK1-2003-131,1/r1/2	49,98	0,72	1,61	0,04	0,11	18,76	0,47	11,58	16,02	0,13	0,00	0,07	0,00	0,00	0,01	0,14	0,00	99,64
KKK1-2003-131,1/r1/2	50,09	0,79	1,66	0,01	0,12	18,79	0,40	11,74	16,05	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	99,87
KKK1-2003-131,1/r1/3	50,32	0,61	1,58	0,04	0,10	18,49	0,42	13,35	14,19	0,17	0,00	0,02	0,00	0,07	0,00	0,02	0,00	99,38
KKK1-2003-131,1/r1/3	50,36	0,67	1,55	0,02	0,08	18,46	0,40	13,48	14,06	0,16	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,11	0,00	99,41
KRRO-2004-9,1/r2/1	49,49	0,78	2,16	0,03	0,08	17,71	0,49	13,19	14,45	0,19	0,01	0,04	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	98,73
KRRO-2004-9,1/r2/1	49,73	0,81	2,03	0,02	0,05	18,60	0,59	13,12	13,61	0,17	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	98,88
KRRO-2004-9,1/r2/2	49,22	0,75	1,86	0,00	0,06	18,53	0,56	13,39	13,56	0,18	0,03	0,03	0,00	0,07	0,00	0,11	0,02	98,38
KRRO-2004-9,1/r2/2	49,81	0,73	1,96	0,04	0,04	18,24	0,51	13,53	13,82	0,21	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,11	0,00	99,01
KRRO-2004-9,1/r2/3	49,94	0,84	1,91	0,00	0,07	18,52	0,54	13,30	13,66	0,21	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,10	0,00	99,10
KRRO-2004-9,1/r2/3	49,88	0,70	1,55	0,02	0,06	20,57	0,49	13,81	11,27	0,17	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00	0,09	0,00	98,70
MTL1-2003-119.2/r1/2	50,17	0,86	2,10	0,02	0,10	15,46	0,36	13,17	16,50	0,17	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,10	0,00	99,06
MTL1-2003-119.2/r1/2	49,22	1,02	2,28	0,01	0,10	15,86	0,30	13,21	16,35	0,16	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,09	0,00	98,65
MTL1-2003-119.2/r1/3	49,82	1,00	2,29	0,01	0,09	15,15	0,33	12,71	17,22	0,23	0,01	0,00	0,00	0,05	0,01	0,11	0,00	99,04
MTL1-2003-119.2/r1/3	50,20	0,90	2,27	0,00	0,10	15,27	0,34	13,13	16,59	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,00	99,10

Näyte / analyysikohta	SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	V2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	SrO	BaO	P2O5	NiO	F	Cl	Total
MTL1-2003-119.2/r1/4	50,13	0,82	2,06	0,03	0,10	14,43	0,36	13,57	17,21	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00	98,96
MTL1-2003-119.2/r1/4	49,94	0,89	1,95	0,05	0,11	15,14	0,38	13,69	16,46	0,21	0,00	0,00	0,00	0,16	0,02	0,06	0,00	99,05
MTL1-2003-119.2/r1/5	49,94	0,75	2,14	0,04	0,10	15,03	0,32	13,28	17,11	0,20	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,03	99,04
MTL1-2003-119.2/r1/5	50,16	0,80	2,04	0,02	0,06	14,71	0,29	13,18	17,06	0,21	0,01	0,00	0,00	0,07	0,02	0,08	0,00	98,71
MTL1-2003-119.2/r1/6	50,20	0,88	1,91	0,00	0,10	16,12	0,38	12,80	17,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,08	0,00	99,68
MTL1-2003-119.2/r1/6	50,15	0,79	1,88	0,01	0,05	16,63	0,38	13,07	16,05	0,19	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,09	0,00	99,36
MTL1-2003-136,1/r2/3	49,00	0,56	1,09	0,01	0,02	26,68	0,58	7,82	13,63	0,10	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,07	0,04	99,64
MTL1-2003-136,1/r2/3	48,45	0,56	1,11	0,01	0,02	26,92	0,56	7,43	13,93	0,11	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	99,21
MTL1-2003-136,1/r2/3	48,47	0,58	1,05	0,01	0,03	27,59	0,62	7,42	13,81	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,00	99,80
MTL1-2003-136,1/r2/4	49,20	0,62	1,18	0,04	0,03	23,98	0,54	8,70	15,01	0,12	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	99,52
MTL1-2003-136,1/r2/4	49,31	0,59	1,24	0,00	0,03	24,48	0,52	8,59	14,92	0,13	0,00	0,01	0,00	0,07	0,00	0,05	0,00	99,94
MTL1-2003-136,1/r2/4	48,80	0,65	1,19	0,01	0,03	23,85	0,50	8,67	15,10	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,01	99,02
MTL1-2003-136,1/r2/5	50,00	0,69	1,54	0,00	0,08	19,20	0,46	11,72	15,74	0,16	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	99,70
MTL1-2003-136,1/r2/5	50,40	0,77	1,50	0,00	0,05	19,37	0,44	11,68	15,72	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,12	0,00	100,26
MTL1-2003-136,1/r2/5	49,87	0,76	1,54	0,00	0,05	19,46	0,44	11,50	15,61	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	99,49
MTL1-2003-136,1/r2/6	50,14	0,69	1,54	0,03	0,06	19,32	0,43	11,83	15,33	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	99,61
MTL1-2003-136,1/r2/6	49,95	0,68	1,57	0,00	0,05	19,47	0,50	11,67	15,66	0,19	0,01	0,00	0,00	0,04	0,02	0,09	0,00	99,91
MTL1-2003-136,1/r2/6	50,17	0,74	1,52	0,03	0,11	19,61	0,46	11,68	15,62	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	100,17
MTL1-2003-136,1/r2/6	49,86	0,69	1,54	0,00	0,09	19,15	0,46	11,64	15,56	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	99,26
MTL1-2003-18,1/1	51,69	0,52	2,74	0,05	0,05	8,84	0,22	16,51	18,84	0,19	0,02	0,00	0,00	0,05	0,03	0,10	0,00	99,84
MTL1-2003-18,1/1	52,07	0,51	2,72	0,05	0,06	9,03	0,29	16,00	18,54	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	99,59
MTL1-2003-18,1/1	51,66	0,67	2,64	0,04	0,06	8,68	0,20	16,47	19,14	0,21	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,12	0,03	99,96
MTL1-2003-18,1/2	50,26	0,66	4,62	0,00	0,05	9,39	0,23	15,87	17,20	0,31	0,00	0,03	0,00	0,14	0,00	0,03	0,00	98,79
MTL1-2003-18,1/2	51,49	0,58	3,57	0,13	0,07	7,80	0,21	16,64	18,52	0,26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,08	0,01	99,37
MTL1-2003-18,1/2	50,29	0,71	4,82	0,01	0,07	10,09	0,25	16,14	17,11	0,33	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04	0,01	99,91
PIMS-2003-526,1/3	49,39	0,93	3,81	0,45	0,08	9,34	0,20	15,39	18,52	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,01	98,50
PIMS-2003-526,1/3	49,64	0,87	3,99	0,49	0,02	9,50	0,23	15,53	18,40	0,29	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,12	0,00	99,14
PIMS-2003-526,1/4	50,87	0,59	2,62	0,34	0,07	8,85	0,21	16,20	18,85	0,30	0,01	0,07	0,00	0,00	0,02	0,08	0,00	99,10
PIMS-2003-526,1/4	51,63	0,60	2,52	0,32	0,05	8,97	0,21	16,45	18,49	0,22	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	99,52
PIMS-2003-526,1/5	50,36	0,75	3,32	0,02	0,07	11,69	0,32	16,19	16,40	0,31	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	99,55
PIMS-2003-526,1/5	50,29	0,70	3,28	0,00	0,09	11,52	0,31	15,78	16,28	0,30	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	98,64
PIMS-2006-4,1/r1/3	51,67	0,63	2,30	0,09	0,08	12,16	0,29	15,43	16,96	0,19	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,08	0,00	99,93
PIMS-2006-4,1/r1/3	51,47	0,64	2,26	0,15	0,10	11,97	0,28	15,61	16,91	0,18	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,10	0,00	99,69
PIMS-2006-4,1/r1/4	50,61	0,77	2,29	0,02	0,10	14,59	0,34	13,96	16,64	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,00	99,68
PIMS-2006-4,1/r1/4	50,81	0,65	1,96	0,04	0,10	15,88	0,34	14,27	15,73	0,16	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,08	0,02	100,06
PIMS-2006-4,1/r1/5	50,46	0,79	1,72	0,00	0,04	17,48	0,44	11,54	16,59	0,20	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,11	0,00	99,41
PIMS-2006-4,1/r1/5	49,89	0,79	1,77	0,00	0,11	17,57	0,39	12,01	16,66	0,22	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,12	0,00	99,61

LIITE 4 - PLAGIOKLAASIANALYYSIT

Näyte / analyysikohta	SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	V2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	SrO	BaO	P2O5	NiO	F	Cl	Total
BBT\$ 2005 7.1/1	50,91	0,05	28,25	0,02	0,00	0,58	0,00	0,14	12,52	4,20	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00	0,13	0,02	96,92
BBT\$ 2005 7.1/1	51,01	0,00	28,79	0,05	0,05	0,60	0,00	0,13	12,69	4,08	0,12	0,00	0,00	0,01	0,01	0,15	0,00	97,69
BBT\$-2005-15,1/1	67,86	0,02	20,19	0,00	0,01	0,04	0,03	0,02	0,90	11,14	0,02	0,05	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	100,34
BBT\$-2005-15,1/1	66,66	0,00	20,09	0,03	0,00	0,05	0,00	0,00	1,34	11,50	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	99,79
BBT\$-2005-220,1/3	54,58	0,11	27,18	0,01	0,03	0,82	0,07	0,08	10,16	5,70	0,24	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	99,09
BBT\$-2005-220,1/3	54,70	0,10	26,90	0,00	0,03	0,86	0,01	0,12	10,07	5,90	0,19	0,05	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	98,96
BBT\$-2005-220,1/3	54,22	0,06	27,60	0,00	0,01	0,59	0,00	0,08	10,54	5,64	0,10	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	98,98
EIPO-2004 29.1SV/4	52,35	0,05	28,32	0,01	0,00	0,59	0,02	0,08	11,80	4,56	0,17	0,06	0,01	0,15	0,00	0,10	0,00	98,29
EIPO-2004 29.1SV/4	52,40	0,06	28,22	0,00	0,00	0,81	0,02	0,11	12,00	4,45	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,12	0,01	98,38
EPHE-2004-10,1/4	53,60	0,05	28,03	0,00	0,01	0,59	0,01	0,12	11,58	4,93	0,23	0,10	0,00	0,03	0,02	0,05	0,00	99,35
EPHE-2004-10,1/4	53,21	0,02	28,10	0,04	0,03	0,53	0,00	0,06	11,88	4,91	0,25	0,07	0,00	0,09	0,01	0,09	0,00	99,30
EPHE-2004-15,1/1	53,13	0,04	28,83	0,00	0,00	0,51	0,02	0,16	12,23	4,51	0,31	0,04	0,00	0,08	0,00	0,09	0,00	99,94
EPHE-2004-15,1/1	52,80	0,07	28,64	0,00	0,00	0,59	0,00	0,13	12,60	4,43	0,28	0,12	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	99,68
EPHE-2004-159,1/1	55,80	0,10	27,03	0,03	0,02	0,65	0,00	0,08	9,78	6,01	0,19	0,02	0,00	0,00	0,02	0,07	0,00	99,79
EPHE-2004-159,1/1	56,04	0,07	27,18	0,01	0,00	0,55	0,00	0,06	9,64	6,09	0,12	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	99,90
EPHE-2004-163,1/3	55,29	0,05	26,69	0,00	0,00	0,71	0,00	0,06	9,85	6,13	0,16	0,09	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	99,08
EPHE-2004-163,1/3	55,14	0,04	26,68	0,03	0,01	0,71	0,03	0,06	9,78	6,22	0,16	0,08	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	98,99
EPHE-2004-30,1PX/5	54,46	0,07	27,72	0,04	0,02	0,61	0,03	0,11	11,25	5,22	0,32	0,13	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	100,04
EPHE-2004-30,1PX/5	55,33	0,13	27,67	0,00	0,02	0,61	0,00	0,09	10,31	5,72	0,13	0,08	0,00	0,01	0,02	0,05	0,02	100,19
EPHE-2004-97,2/1	52,70	0,01	28,36	0,00	0,01	0,45	0,00	0,08	12,16	4,67	0,13	0,08	0,01	0,00	0,01	0,04	0,00	98,72
EPHE-2004-97,2/1	52,74	0,01	28,20	0,01	0,00	0,47	0,02	0,10	12,17	4,63	0,12	0,09	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00	98,61
HMLA-2004-28,2/r1/3	52,54	0,04	28,64	0,00	0,00	0,53	0,00	0,04	12,51	4,57	0,20	0,07	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	99,21
HMLA-2004-28,2/r1/3	52,61	0,09	28,88	0,00	0,00	0,78	0,01	0,04	12,43	4,39	0,25	0,04	0,00	0,03	0,00	0,07	0,01	99,62
HMLA-2004-28,2/r1/3	52,47	0,05	28,30	0,00	0,00	0,59	0,01	0,01	12,40	4,62	0,13	0,03	0,01	0,00	0,00	0,07	0,03	98,71
HMLA-2004-326,1/3	54,09	0,08	27,68	0,00	0,00	0,94	0,00	0,10	11,45	5,28	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	99,86
HMLA-2004-326,1/3	54,35	0,04	27,43	0,00	0,00	0,96	0,00	0,11	11,11	5,49	0,12	0,01	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00	99,69
JJES-2005-13,1/1	60,37	0,00	24,50	0,00	0,01	0,14	0,00	0,00	6,46	8,26	0,05	0,08	0,00	0,00	0,00	0,15	0,03	100,07
JJES-2005-13,1/1	59,51	0,02	25,03	0,03	0,02	0,18	0,00	0,00	7,25	7,96	0,06	0,09	0,00	0,12	0,00	0,11	0,00	100,37
KKK1-2003-131,1/r1/1	52,81	0,06	28,54	0,02	0,00	0,51	0,00	0,08	12,39	4,48	0,22	0,04	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	99,24
KKK1-2003-131,1/r1/1	53,69	0,04	27,66	0,01	0,02	0,54	0,07	0,05	11,88	4,99	0,23	0,01	0,00	0,01	0,00	0,08	0,00	99,28
KKK1-2005-203,1/3	67,82	0,00	19,56	0,00	0,03	0,20	0,00	0,00	0,51	12,00	0,05	0,07	0,00	0,09	0,01	0,10	0,00	100,43
KKK1-2005-203,1/3	68,05	0,01	19,43	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,39	11,90	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,04

Näyte / analyysikohta	SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	V2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	SrO	BaO	P2O5	NiO	F	Cl	Total
KRRO-2004-9,1/r2/4	53,77	0,12	27,04	0,04	0,00	0,65	0,00	0,09	11,18	5,09	0,44	0,10	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	98,56
KRRO-2004-9,1/r2/4	54,14	0,06	27,04	0,00	0,00	0,70	0,00	0,08	10,95	5,08	0,39	0,02	0,00	0,01	0,00	0,08	0,00	98,56
MTL1-2003-119.2/r2/3	56,44	0,06	26,33	0,00	0,00	0,81	0,01	0,08	9,14	6,45	0,17	0,02	0,00	0,00	0,01	0,06	0,01	99,59
MTL1-2003-119.2/r2/3	55,89	0,03	26,42	0,00	0,00	0,51	0,03	0,01	9,18	6,45	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	98,74
MTL1-2003-119.2/r2/3	56,55	0,03	26,09	0,00	0,01	0,48	0,04	0,03	9,07	6,67	0,14	0,08	0,00	0,05	0,01	0,01	0,00	99,27
MTL1-2003-136,1/r2/1	57,13	0,04	25,64	0,00	0,02	0,46	0,05	0,04	8,81	6,46	0,40	0,06	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	99,16
MTL1-2003-136,1/r2/1	57,69	0,04	25,58	0,00	0,02	0,44	0,00	0,02	8,82	6,75	0,32	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	99,72
MTL1-2003-18,1/3	49,63	0,02	30,66	0,01	0,02	0,64	0,06	0,10	15,00	2,97	0,13	0,09	0,00	0,05	0,01	0,08	0,00	99,46
MTL1-2003-18,1/3	48,85	0,00	30,77	0,00	0,00	0,65	0,01	0,06	15,36	2,76	0,12	0,05	0,00	0,00	0,04	0,04	0,03	98,73
MTL1-2003-18,1/3	49,61	0,03	30,92	0,01	0,00	0,69	0,02	0,09	15,18	2,84	0,13	0,07	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	99,61
MTL1-2003-80,1/1	52,31	0,06	28,60	0,02	0,03	0,70	0,00	0,17	12,62	4,39	0,23	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,20
MTL1-2003-80,1/1	52,31	0,03	28,92	0,00	0,00	0,61	0,02	0,13	12,80	4,32	0,25	0,08	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	99,50
PIM\$-2003-521,1/1	63,04	0,00	22,84	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	4,49	9,50	0,07	0,20	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	100,23
PIM\$-2003-521,1/1	62,81	0,02	23,16	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	4,53	9,45	0,08	0,12	0,00	0,09	0,00	0,01	0,00	100,35
PIM\$-2003-526,1/2	52,91	0,10	27,99	0,00	0,02	0,65	0,00	0,11	11,91	4,84	0,26	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	98,90
PIM\$-2003-526,1/2	53,19	0,04	28,32	0,00	0,02	0,57	0,05	0,03	12,02	4,79	0,11	0,10	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	99,28
PIM\$-2003-597,1/6	56,39	0,02	27,25	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	9,69	6,27	0,07	0,10	0,00	0,00	0,01	0,09	0,01	100,00
PIM\$-2003-597,1/6	56,24	0,00	27,02	0,00	0,01	0,04	0,00	0,02	9,88	6,35	0,06	0,08	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	99,78
PIM\$-2003-597,1/6	56,21	0,02	27,05	0,00	0,03	0,08	0,00	0,00	9,87	6,20	0,05	0,12	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00	99,71
PIM\$-2006-4,1/r1/2	55,76	0,04	26,60	0,00	0,02	0,50	0,01	0,05	9,99	6,10	0,10	0,09	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	99,35
PIM\$-2006-4,1/r1/2	55,75	0,08	26,62	0,00	0,00	0,48	0,03	0,04	10,21	6,21	0,11	0,04	0,00	0,10	0,03	0,07	0,00	99,78
SOMA-2006-259,1/3	52,44	0,06	28,39	0,00	0,00	0,70	0,00	0,14	11,92	4,88	0,12	0,06	0,00	0,04	0,00	0,11	0,00	98,85
SOMA-2006-259,1/3	51,82	0,03	28,43	0,00	0,00	0,59	0,02	0,13	12,28	4,72	0,11	0,07	0,00	0,06	0,02	0,12	0,00	98,40

LIITE 5 – MUUT MIKROANALYYSIT

Näyte / analyysikohta	SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	V2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	SrO	BaO	P2O5	NiO	F	Cl	Total
BBT\$ 2005 7.1/4	0,00	49,47	0,00	0,00	0,31	42,53	2,76	0,03	0,45	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,16	0,00	95,78
EPHE-2004-30,1PX/6	0,00	50,35	0,00	0,00	0,39	44,94	1,59	0,05	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,08	0,02	97,47
MTL1-2003-119.2/r1/1a=ilmeniitti	0,00	49,98	0,00	0,00	0,38	44,40	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	95,90
MTL1-2003-136,1/r2/2a=ilmeniitti	0,00	49,59	0,00	0,01	0,38	45,15	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	96,20
MTL1-2003-136,1/r2/2a=ilmeniitti	0,00	49,46	0,00	0,00	0,41	45,67	0,96	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00	0,11	0,00	96,71
PIM\$-2003-526,1/1a = ilmeniitti	0,00	49,34	0,00	0,03	0,53	46,16	1,97	0,07	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,06	0,03	0,10	0,00	98,34
PIM\$-2003-526,1/1a = ilmeniitti	0,00	50,30	0,00	0,00	0,47	46,48	1,93	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,14	0,00	99,38
PIM\$-2006-4,1/r1/1a=ilmeniitti	0,00	50,34	0,00	0,00	0,41	45,06	1,31	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,13	0,00	97,33
PIM\$-2006-4,1/r1/1a=ilmeniitti	0,00	48,85	0,00	0,00	0,43	45,32	1,27	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,11	0,00	0,09	0,00	96,11
MTLI-2003-97,1/4	0,00	48,60	0,00	0,03	0,42	46,02	1,14	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,00	96,39
MTLI-2003-97,1/4	0,00	49,72	0,00	0,00	0,49	46,68	1,23	0,06	0,10	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,01	98,42
EPHE-2004-30,1PX/6	0,01	50,40	0,00	0,02	0,39	44,47	1,60	0,06	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,09	0,00	97,09
PIM\$-2003-526,1/1b = FeOx	0,02	0,89	0,07	0,03	0,69	90,68	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,02	0,15	0,00	92,65
MTL1-2003-119.2/r1/1a=ilmeniitti	0,02	49,49	0,00	0,03	0,44	44,48	1,07	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	95,67
MTL1-2003-119.2/r1/1a=ilmeniitti	0,02	48,61	0,00	0,03	0,44	43,27	1,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	93,53
BBT\$ 2005 7.1/4	0,02	50,13	0,00	0,02	0,46	42,93	2,68	0,04	0,32	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	96,75
PIM\$-2003-34,1/1b=ilmeniitti	0,02	49,61	0,00	0,03	0,43	46,86	2,17	0,02	0,24	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,09	0,00	99,51
MTLI-2003-97,1/4	0,02	49,15	0,00	0,00	0,50	45,84	1,24	0,06	0,53	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,09	0,01	97,48
MTL1-2003-136,1/r2/2a=ilmeniitti	0,03	49,94	0,00	0,01	0,35	45,55	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,15	0,00	97,01
EPHE-2004-30,1PX/6	0,04	49,87	0,00	0,03	0,39	44,64	1,59	0,05	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	96,72
PIM\$-2003-526,1/1a = ilmeniitti	0,05	48,87	0,00	0,03	0,48	46,79	2,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,09	0,00	98,33
PIM\$-2003-34,1/1b=ilmeniitti	0,05	49,48	0,00	0,01	0,46	46,41	2,31	0,04	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,07	0,02	99,15
PIM\$-2003-526,1/1b = FeOx	0,05	0,92	0,09	0,00	0,73	89,22	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,02	0,00	0,19	0,00	91,35
PIM\$-2003-34,1/1b=ilmeniitti	0,06	49,74	0,00	0,02	0,40	46,45	2,33	0,03	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,11	0,02	99,47
PIM\$-2003-526,1/1b = FeOx	0,07	0,86	0,13	0,01	0,67	90,01	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,22	0,00	0,19	0,00	92,24
MTL1-2003-136,1/r2/2c=FeOx	0,19	0,89	0,10	0,05	1,00	89,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	91,55
MTL1-2003-136,1/r2/2c=FeOx	0,58	0,93	0,15	0,05	1,06	89,10	0,02	0,08	0,08	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,16	0,00	92,27
PIM\$-2003-34,1/1a=FeOx	0,66	0,29	0,15	0,48	0,36	88,37	0,00	0,09	0,14	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,09	0,16	0,03	90,84
MTL1-2003-136,1/r2/2b=FeOx	0,78	0,29	0,09	0,00	0,51	89,42	0,00	0,08	0,02	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,20	0,02	91,45
MTL1-2003-136,1/r2/2c=FeOx	0,93	1,01	0,30	0,00	1,02	88,50	0,00	0,05	0,18	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,21	0,03	92,33
MTL1-2003-136,1/r2/2b=FeOx	1,09	0,33	0,06	0,02	0,50	89,08	0,05	0,08	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	91,51
MTL1-2003-136,1/r2/2b=FeOx	1,44	0,32	0,09	0,03	0,52	89,73	0,05	0,19	0,06	0,00	0,00	0,05	0,00	0,10	0,00	0,16	0,00	92,75
PIM\$-2003-269,1/1=titaniitti	30,78	38,48	0,72	0,00	0,32	0,25	0,02	0,02	28,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,18	0,00	99,04
PIM\$-2003-269,1/1=titaniitti	30,93	38,07	0,72	0,03	0,33	0,21	0,02	0,00	28,13	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	98,50

Näyte / analyysikohta	SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	V2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	SrO	BaO	P2O5	NiO	F	Cl	Total
PIM\$-2006-4,1/r1/1b=kiille	33,46	3,61	13,80	0,05	0,20	31,41	0,10	3,84	0,00	0,00	8,88	0,00	0,00	0,08	0,01	0,16	1,02	96,62
PIM\$-2006-4,1/r1/1b=kiille	33,50	3,51	13,73	0,01	0,18	31,15	0,07	3,87	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	1,18	96,34
PIM\$-2006-4,1/r1/1b=kiille	34,23	4,46	12,57	0,00	0,16	31,27	0,11	4,33	0,01	0,11	8,62	0,00	0,00	0,06	0,02	0,24	1,13	97,33
BBT\$ 2005 7.1/4	34,80	2,24	16,58	0,00	0,16	21,21	0,14	9,92	0,17	0,00	8,22	0,00	0,16	0,00	0,04	0,22	0,22	94,08
KKK1-2003-212,1/r2/1	36,52	0,01	24,81	0,02	0,07	10,29	0,11	0,00	23,95	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	95,90
KKK1-2003-212,1/r2/2	36,53	0,02	23,40	0,01	0,12	11,57	0,17	0,03	23,56	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	95,76
KKK1-2003-212,1/r2/1	36,66	0,03	24,56	0,01	0,05	9,93	0,14	0,01	23,77	0,00	0,00	0,12	0,00	0,02	0,01	0,07	0,00	95,39
KKK1-2003-212,1/r2/2	36,84	0,00	23,52	0,03	0,08	11,61	0,19	0,00	23,72	0,00	0,00	0,22	0,00	0,11	0,00	0,08	0,00	96,41
MTL1-2003-119.2/r1/1b	41,72	1,18	8,10	0,00	0,25	29,04	0,27	2,63	10,61	1,23	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,56	96,40
BBT\$ 2006 123.1SV/1	96,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	96,26
BBT\$ 2006 123.1SV/1	96,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,03	0,00	0,07	0,01	96,73
KKK1-2003-212,1/r1/4	97,31	0,03	0,00	0,01	0,01	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,09	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	97,61
KKK1-2003-212,1/r1/4	97,74	0,02	0,00	0,00	0,01	0,11	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	97,98
PIM\$-2003-269,1/2	98,84	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,06
KKK1-2003-60,2/3	98,94	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01	0,01	0,00	99,09
PIM\$-2006-4,1/r2/3	99,16	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,07	0,01	0,00	0,00	99,39
KKK1-2003-60,2/3	99,21	0,06	0,20	0,00	0,00	0,09	0,00	0,01	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,64
PIM\$-2003-269,1/2	99,33	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,02	0,04	0,00	99,51
PIM\$-2006-4,1/r2/3	99,54	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,03	99,70
EPHE-2006-160,1/3	99,69	0,02	0,01	0,00	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	99,92
EPHE-2006-160,1/3	99,75	0,07	0,00	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,12	0,00	0,06	0,00	100,13

LIITE 6 – IKÄMÄÄRITYSANALYYSIN TULOKSET

Sample information density/size/abraded x hours	Sample weight/ mg	U Pb		²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	Isotopic ratios*		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ%	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ%	Rho**	Apparent ages / Ma		
		ppm		measured	radiogenic	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ%						²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
A1914A baddeleyite +4.0 -200	0,23	404	159	958	0,06	0,36223	0,7	6,87	0,7	0,14	0,2	0,96	1993	2095	2198
A1914B baddeleyite +4.0 -200 a10min	0,3	306	124	1269	0,08	0,36992	0,7	7,06	0,7	0,14	0,2	0,96	2029	2119	2207